

Н. М. БОРИСОВ

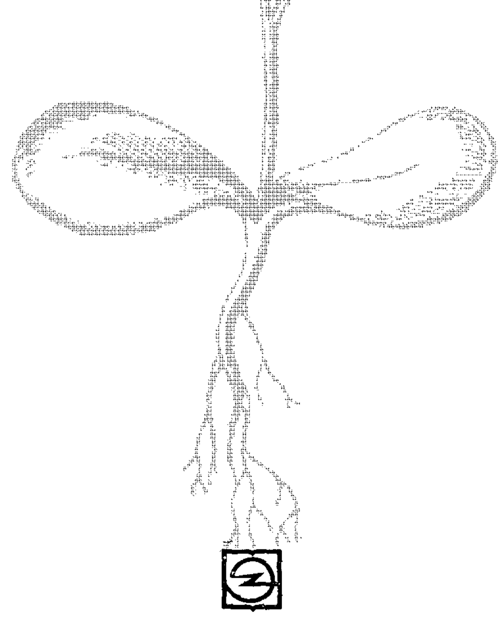
АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 907

Н. М. БОРИСОВ

АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1976

6Ф6.5
Б 82
УДК 62-52:621.396.6

Борисов Н. М.

Б 82 Автоматические устройства контроля и управления. М., «Энергия», 1976.

88 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 907)

В книге излагаются методы расчета и конструирования простейших автоматических устройств непрерывного и дискретного действия. Описываются конструкции и электрические схемы включения датчиков. Приводятся практические схемы блоков автоматических устройств. Даются краткие сведения об алгебре логики.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей и рационализаторов, занимающихся изготовлением автоматических устройств, полезных в быту и на производстве.

Б $\frac{30402\text{-}283}{051(01)\text{-}76}$ 333-75 6Ф6.5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное развитие народного хозяйства, дальнейшее ускорение темпов научно-технического прогресса немыслимы без применения автоматических электронных устройств контроля и управления.

Эти устройства находят самое широкое применение в быту, в промышленности и в сельском хозяйстве, освобождая человека от выполнения тяжелых и утомительных операций. Они позволяют управлять космическим кораблем и луноходом, измерять и регистрировать частоту пульса или величину мышечного напряжения у спортсмена во время тренировок, осуществлять дистанционный контроль и управление сложнейшими технологическими процессами. Устройства автоматики обеспечивают надежную охрану квартир и служебных помещений, помогают фотолюбителям и моделистам и т. д. Несмотря на столь большое разнообразие выполняемых автоматическими устройствами функций и самые различные условия их применения, принципы их построения одинаковы, а их конструкции состоят из сравнительно ограниченного числа электронных блоков.

Знание принципов построения систем автоматического контроля и управления ими позволит радиолюбителям нашей страны более эффективно внедрять существующие средства автоматики и создавать новые для промышленности, сельского хозяйства и домашнего обихода.

В предлагаемой книге рассматриваются лишь электрические системы автоматики, как наиболее доступные для индивидуального исполнения; в промышленности также находят широкое применение пневматические и гидравлические системы, работающие как самостоятельно, так и в сочетании с электрическими устройствами.

Цель книги — ознакомить радиолюбителей с основами автоматики и на примерах научить самостоятельному расчету и конструированию автоматических устройств.

Автор

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Общие сведения

Автоматическими устройствами контроля и управления называются устройства, осуществляющие измерение тех или иных величин или управление (регулирование) какими-либо процессами без вмешательства человека. При этом операции, которые они выполняют, подобны операциям человека при ручном управлении.

Например, при ручном управлении для наполнения бака водой требуемой температуры человек измеряет температуру воды термометром, анализирует полученный результат, принимает решение о добавлении горячей или холодной воды и поворачивает нужный кран. Через некоторое время он повторяет весь этот процесс до тех пор, пока не достигнет желаемого результата.

Автоматическое устройство выполняет ту же операцию следующим образом: чувствительный элемент измеряет температуру воды, показание элемента преобразуется в электрический сигнал, который затем сравнивается с заданным (программным) сигналом и в случае их несовпадения открывает или закрывает управляемый клапан на трубопроводе горячей (или холодной) воды. Непрерывно выполняя эту операцию, автоматический регулятор устанавливает в баке необходимую температуру.

Из этого примера видно, что данное автоматическое устройство должно иметь: чувствительный элемент; преобразователь температуры; программное устройство, вырабатывающее электрический сигнал, соответствующий требуемой температуре; устройство сравнения (блок разности), в котором происходит сравнение преобразованного сигнала с сигналом программного устройства и вырабатывается разностный сигнал; усилитель мощности, усиливающий разностный сигнал до величины, необходимой для управления клапаном; исполнительное устройство (клапан).

Функциональные автоматические устройства в необходимых сочетаниях образуют системы автоматического контроля, регулирования и управления.

Рассмотренная нами система является системой автоматического регулирования или замкнутой системой автоматического управления, поскольку она не только измеряет температуру воды в баке, но и обеспечивает поддержание заданной температуры.

Система, которая осуществляет процесс регулирования путем подачи сигнала на исполнительное устройство с помощью другой

автоматической системы, называется разомкнутой системой автоматического управления.

Система, которая лишь производит автоматическое измерение какой-либо величины (температуры, освещенности, перемещения и др.) и фиксирует измеренную величину с помощью электрического индикатора или регистратора, но не оказывает воздействия на процесс, называется системой автоматического контроля (или измерительной системой).

Все рассмотренные системы предполагают неразрывную электрическую связь всех блоков. Однако бывает, что исполнительное и программное устройства разделены большим расстоянием, например двигатели космического корабля и наземное управляющее устройство. *Автоматическая система, предназначенная для передачи и приема управляющих сигналов на большие расстояния, называется телемеханической системой.*

Структурные схемы автоматических систем

Структурные схемы рассмотренных автоматических систем представлены на рис. 1.

Назначение большинства из элементов, показанных на схеме, понятно из их названия, поэтому несколько подробнее остановимся только на определении датчика.

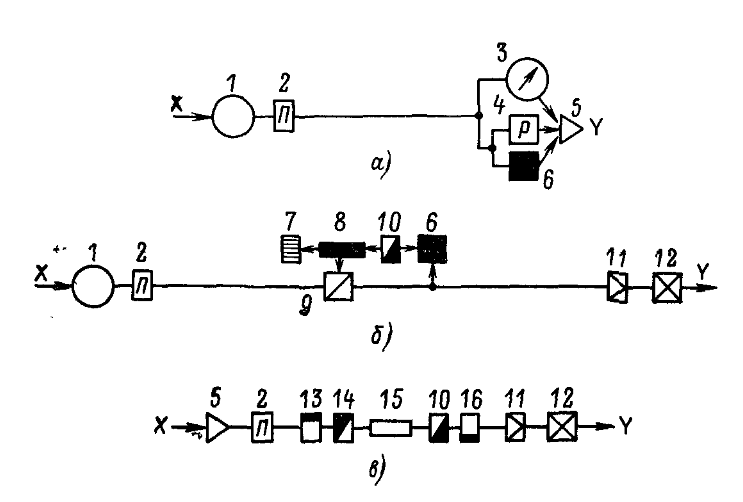


Рис. 1. Структурные схемы автоматических систем.

а — контроля; *б* — регулирования; *в* — телеуправления (телемеханическая система); *1* — воспринимающий (чувствительный) элемент; *2* — преобразователь сигнала; *3* — прибор индикации и сигнализации; *4* — регистратор; *5* — передача или прием сигнала человеком; *6* — прибор хранения информации («память»); *7* — задатчик; *8* — программное устройство; *9* — устройство сравнения; *10* — приемник; *11* — усилитель; *12* — исполнительное устройство; *13* — шифратор-модулятор; *14* — генератор; *15* — линия связи; *16* — дешифратор-демодулятор.

Датчик является неотъемлемой частью любого автоматического устройства и представляет собой его «орган чувств». Так, например, в устройствах, работающих в зависимости от освещенности, роль такого «органа чувств» выполняет фотоэлемент, в устройствах, управляемых звуковым сигналом,— микрофон.

В более общем виде под датчиком понимают элемент, воспринимающий информацию о значении интересующего нас параметра (освещенности, звукового сигнала, перемещения, скорости и т. п.) и преобразующий ее в изменение сопротивления, индуктивности, емкости или э. д. с.

В зависимости от характера входных и выходных сигналов автоматические устройства делятся на устройства непрерывного и прерывистого действия и называются соответственно аналоговыми и дискретными автоматическими устройствами.

Дискретные автоматические устройства подразделяются в свою очередь на релейные и импульсные (или логические).

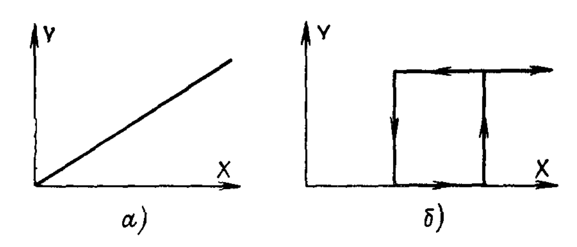


Рис. 2. Характеристики автоматических устройств.
а — аналоговых; *б* — релейных.

В аналоговых автоматических устройствах контролируемый или **регулируемый** параметр X и выходной параметр Y изменяются непрерывно (рис. 2, *а*).

В релейных автоматических устройствах входной параметр X изменяется непрерывно, а выходной параметр Y появляется лишь при достижении входным параметром некоторого заданного значения (рис. 2, *б*).

В импульсных автоматических устройствах входной параметр X и выходной параметр Y представляют собой импульсы различной длительности, частоты или амплитуды. Чаще всего входные и выходные дискретные сигналы имеют два уровня: отсутствие входного сигнала условно принимается за 0, наличие входного сигнала — за 1. Дискретные автоматические устройства применяют для автоматического контроля, регулирования различных процессов, а также для выполнения разнообразных логических операций, начиная с простейших (автоматы продажи билетов, газет и т. п.) и кончая самыми сложными (электронные вычислительные машины, экстремальные и самонастраивающиеся системы регулирования и т. п.).

Принципы построения и структурные схемы аналоговых и дискретных устройств во многом являются общими. При создании тех и других устройств необходимо решать следующие задачи: правильно выбрать и рассчитать датчик, рассчитать электронные блоки, выбрать соответствующий измерительный или регистрирующий прибор и исполнительное устройство.

Знание радиолюбителями основных принципов построения, правильного выбора и расчета блоков автоматических устройств позволит им самостоятельно разрабатывать самые различные устройства контроля и управления.

РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИИ ДАТЧИКОВ

Контактные датчики

Простейшими преобразователями таких неэлектрических величин, как перемещение в электрический сигнал, являются контактные датчики.

Контактный датчик (рис. 3) состоит из неподвижного контакта *1* и якоря, на котором устанавливается подвижный контакт *2*.

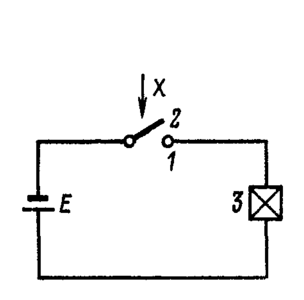


Рис. 3. Схема включения контактного датчика.

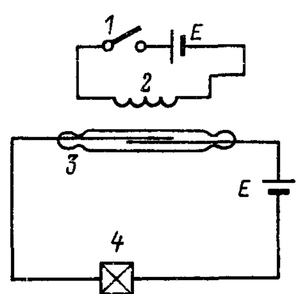


Рис. 4. Схема включения геркона.

Если контакты включить последовательно с источником тока *E* и исполнительным устройством *3* и подать на якорь входной сигнал *X* (механическое перемещение), то исполнительное устройство *3* будет включаться или выключаться в зависимости от перемещения якоря.

Основными характеристиками контактного датчика являются порог срабатывания, в основном определяемый зазором между разомкнутыми контактами, и номинальный рабочий ток контактов.

Очевидно, что чем меньше зазор, тем чувствительнее датчик, однако уменьшение зазора ограничивается опасностью пробоя (возникновения дуги между контактами). Дуга возникает при превышении допустимых значений напряжения на разомкнутых контактах или тока в цепи замкнутых контактов.

Обычно в качестве контактных датчиков применяют контакты реле, для которых указывается величина номинального тока и напряжения (приложение 1).

В качестве контактных датчиков успешно применяются и магнитоуправляемые герметичные контакты (герконы), представляющие собой два контакта, заключенные в стеклянный вакуумный баллон и замыкающиеся под действием магнитного или электрического поля. Если геркон *3* поместить внутри катушки *2* (рис. 4), то при пропускании через нее электрического тока (при замыкании клю-

ча *1*) свободные концы контактов геркона (ферромагнитные пластины) намагничиваются и замыкаются, вызывая протекание тока через исполнительное устройство *4*.

Основные параметры некоторых отечественных герконов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры	Типы герконов			
	КЭМ-1	КЭМ-2	МКВ-1	МУПЗВ-1
Размеры, мм	⌀5,4×50	⌀3,0×20	⌀4,6×23	⌀6,2×42
Магнитодвижущая сила, А	⩽110	⩽64	80—100	90—150
Максимальное время срабатывания, мс	⩽3	⩽1	⩽0,5	⩽2,0

Реостатные датчики

Реостатные датчики также предназначены для преобразования значений перемещения в электрический сигнал и представляют собой переменный резистор, положение движка которого зависит от воздействия линейного или углового перемещения. Простейшая схема включения реостатного датчика показана на рис. 5.

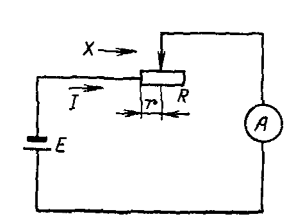


Рис. 5. Схема включения реостатного датчика.

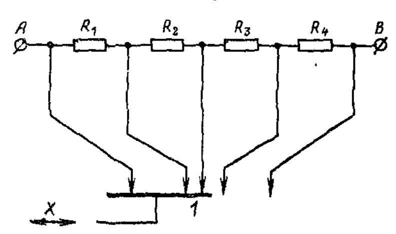


Рис. 6. Схема включения реостатного датчика с нерегулируемыми резисторами.

При перемещении движка потенциометра R под действием усилия X изменяется сопротивление r, включенное в измерительную цепь, а следовательно, и величина измеряемого тока $I=E/r$, если считать $R_{вн}=0$.

Конструктивно реостатный датчик выполняется из манганиновой или константановой проволоки, намотанной на каркас; перемещаемый движок (щетка) выполняется из фосфористой бронзы или серебра.

Реостатный датчик может быть собран и из нескольких нерегулируемых резисторов (рис. 6). При перемещении штока *1* под

действием усилия X происходит поочередное замыкание секций R_1, R_2, R_3 и т. д., изменяющее величину сопротивления между зажимами A и B. Таким образом величина линейного перемещения преобразуется в изменение сопротивления цепи.

Термочувствительные датчики

В качестве преобразователя температуры в электрический сигнал часто применяется терморезистор — элемент, сопротивление которого зависит от температуры окружающей среды. Таким свойством обладают, например, медная, стальная, никелевая и платиновая проволоки.

Зависимость удельного сопротивления от температуры для этих проводников определяется выражением

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где ρ_0 — удельное сопротивление проволоки при температуре $t = 0°C$; α — температурный коэффициент сопротивления; t — температура окружающей среды.

При температуре до 100—150° С используют медную проволоку ($\alpha = 0{,}004$ 1/°C), при температуре до 250—300° С — никелевую проволоку ($\alpha = 0{,}0046$ 1/°C). Для более высоких температур (до 500—800°С) применяют платиновую проволоку ($\alpha = 0{,}00398$ 1/°C). Конструктивно проволочный терморезистор представляет собой термостойкий каркас из фарфора, слюды или кварца с намотанной на него проволокой диаметром 0,05—0,1 мм. Каркас с намоткой помещают в защитный кожух из кварца, стали или другого термостойкого материала.

Широкое распространение получили и полупроводниковые терморезисторы, удельное сопротивление которых уменьшается с увеличением температуры. При изменении температуры от 0 до 100° С сопротивление терморезистора уменьшается от 1000 до 100 кОм.

На рис. 7 показаны различные конструкции терморезисторов прямого подогрева.

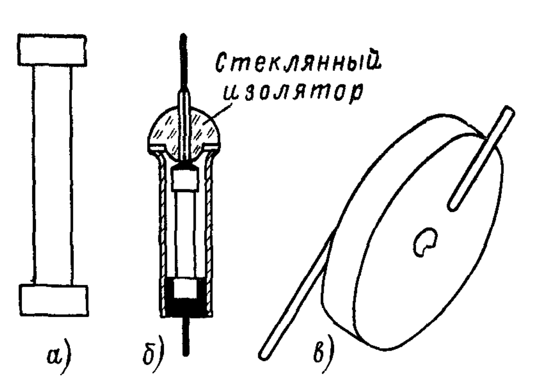


Рис. 7. Терморезисторы прямого подогрева.
а — ММТ-1; КМТ-1; *б* — ММТ-4; КМТ-4; *в* — ММТ-9

Основные технические данные отечественных терморезисторов приведены в приложении 2.

Часто терморезисторы используются в цепях управления реле. Для этой цели могут применяться терморезисторы, вольт-амперная характеристика которых в необходимом диапазоне температур имеет максимум (рис. 8).

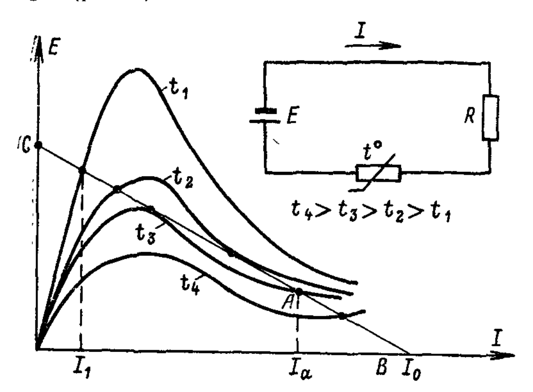


Рис. 8. Вольт-амперные характеристики терморезисторов и схема включения терморезистора в цепь управления реле.

При температуре t_1 через цепь, состоящую из терморезистора с характеристикой t_1, источника тока E и резистора R, протекает ток I_1, определяемый точкой пересечения нагрузочной характеристики (прямой BC) с характеристикой терморезистора. С увеличением температуры до величины, бо́льшей t_3, значение тока в цепи скачком возрастает до значения I_a и возвращение схемы в исходное состояние будет происходить при температуре t_2, которой соответствует вольт-амперная характеристика терморезистора, касательная своей вогнутой частью к прямой BC.

Рис. 9. Термопара.
а — конструкция; *б* — схема включения.

Другим, принципиально отличным от двух рассмотренных датчиков температуры является термоэлектрический датчик или термопара.

Термопара (рис. 9, *а*) представляет собой соединение двух разнородных металлических проводников, в спае которых (точка A) возникает э. д. с., пропорциональная температуре спая.

С увеличением температуры спая возрастает и величина э. д. с. При использовании термопар важно, чтобы температура свободных концов (точки $Б$ и B) была неизменной.

Для температур до 1100°С применяют термопары типа хромель (сплав 90% никеля и 10% хрома) — алюмель (сплав 2% алю-

миния и 94% никеля с небольшими добавками кремния и железа) или хромель — копель (56,5% меди и 43,5% никеля). При температурах 1000—1700° С применяются термопары из платины и платинородиевых сплавов, а также вольфрамо-молибденовые термопары (приложение 3).

Постоянство температуры свободных концов термопары обеспечивается их термостатированием.

При измерении термо-э. д. с. милливольтметром (рис. 9, *б*) ток в цепи определяется формулой

$$I = \frac{E}{R_{м} + R_{п} + R_{т}},$$

где E — термо-э. д. с.; $R_{м}$, $R_{п}$, $R_{т}$ — сопротивления милливольтметра, проводов и термопары соответственно.

Напряжение же на зажимах милливольтметра будет равно величине термо-э. д. с., уменьшенной за счет падения напряжения на подводящих проводах, т. е.

$$U = E - I(R_{п} + R_{т}) = \frac{ER_{м}}{R_{м} + R_{п} + R_{т}}.$$

Отюда видно, что чем больше сопротивление милливольтметра по сравнению с сопротивлением проводов и термопары, тем больше величина измеряемого напряжения и, следовательно, выше точность измерения.

Индуктивные датчики

Целый ряд систем автоматического контроля, предназначенных для измерения значений перемещения или усилия, основан на применении индуктивных датчиков, принцип действия которых определяется зависимостью индуктивности магнитной системы от ее

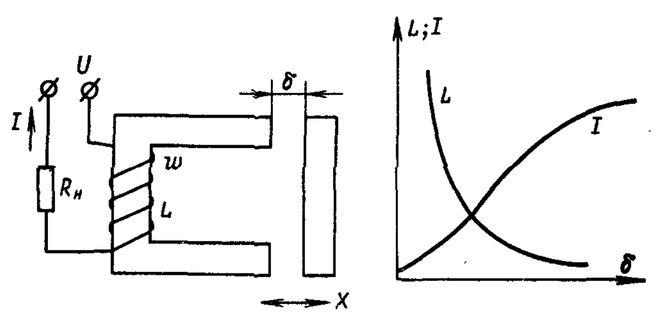


Рис. 10. Индуктивный датчик и его характеристика.

магнитного сопротивления. Например, индуктивность преобразователя перемещения (рис. 10) определяется выражением

$$L = \frac{w^2}{2\delta} S\mu_0,$$

где S — площадь сечения магнитопровода; δ — величина зазора в магнитопроводе; μ_0 — магнитная постоянная зазора; w — число витков катушки индуктивности.

Таким образом, при изменении зазора δ (под действием усилия X) или площади сечения магнитопровода S (при перемещении подвижной пластины вверх или вниз) будет изменяться индуктивность системы, а следовательно, и ток, протекающий через нагрузку $R_н$. Значение тока можно определить по формуле:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_н^2 + \omega^2 L^2}},$$

где U — напряжение источника питания; ω — частота источника питания.

Наибольшее распространение получили дифференциальные индуктивные датчики с двумя дросселями (рис. 11). Эти датчики

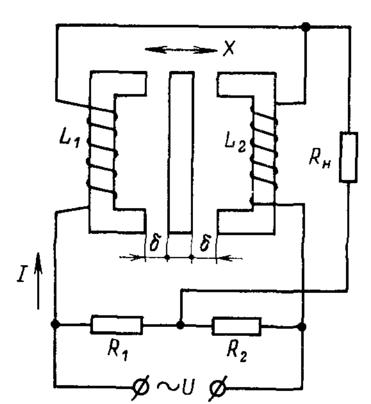


Рис. 11. Схема включения дифференциального индуктивного датчика.

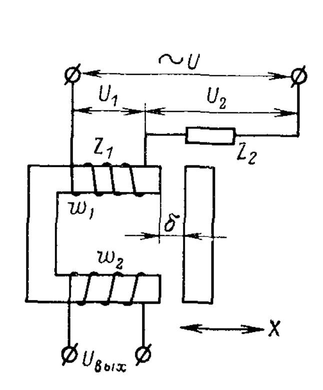


Рис. 12. Схема включения трансформаторного датчика.

обладают более линейной характеристикой и требуют меньших усилий для перемещения подвижной пластины.

К индуктивным датчикам относятся и трансформаторные датчики, в которых измеряемое входное перемещение X изменяет коэффициент индуктивной связи между двумя обмотками — первичной, питаемой напряжением переменного тока U, и вторичной, с которой снимается электрический сигнал $U_{вых}$. На рис. 12 показана схема П-образного трансформаторного датчика. Значение выходного напряжения определяется зависимостью:

$$U_{вых} = \frac{w_2}{w_1} U_1,$$

где

$$U_1 = U \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \text{ и } Z_1 = \omega L \approx \omega \mu_0 w^2 \frac{S}{2\delta}.$$

Схема дифференциального трансформаторного датчика приведена на рис. 13. Основные соотношения для этой схемы можно записать в следующем виде:

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega w_2 (\Phi_1 - \Phi_2); \ \Phi_1 = \frac{\sqrt{2} U_1}{\omega w_1}; \ \Phi_2 = \frac{\sqrt{2} U_2}{\omega w_2},$$

где Φ_1 и Φ_2 — магнитные потоки в сердечниках дросселей.

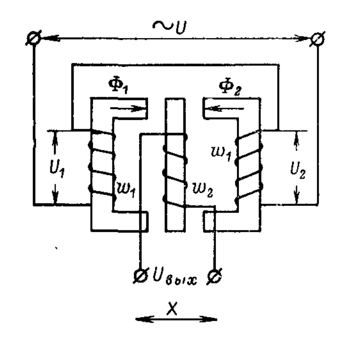


Рис. 13. Схема включения дифференциального трансформаторного датчика.

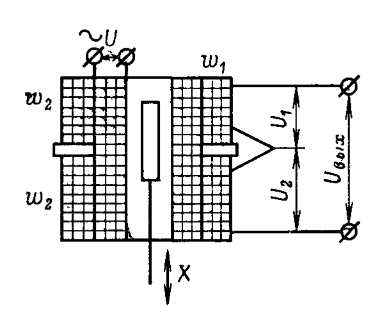


Рис. 14. Трансформаторный датчик соленоидного типа.

Несколько иное устройство у трансформаторных датчиков соленоидного типа (рис. 14), у которых магнитная связь между первичной и двумя вторичными обмотками осуществляется перемещающимся внутри них ферритовым сердечником.

Основные соотношения для этого типа трансформаторных датчиков определяются следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = U_1 - U_2; \ U_1 = U \frac{w_2}{w_1} k_1; \ U_2 = U \frac{w_2}{w_1} k_2,$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты связи, определяемые графо-аналитическим или экспериментальным путем.

На рис. 15 показаны характеристика простого соленоидного датчика и его включение в мостовую схему измерения.

К индуктивным датчикам относятся и магнитострикционные датчики — устройства, в основу которых положена зависимость магнитной проницаемости некоторых материалов (железомарганцевого сплава и др.) от упругих деформаций.

На рис. 16 приведена схема измерения усилия X магнитострикционным датчиком.

При воздействии усилия на магнитопровод изменяется величина его магнитной проницаемости μ и, следовательно, магнитного сопротивления участка магнитопровода, определяемого по формуле

$$R_{\text{м}} = \frac{l}{\mu S},$$

где l — длина магнитопровода.

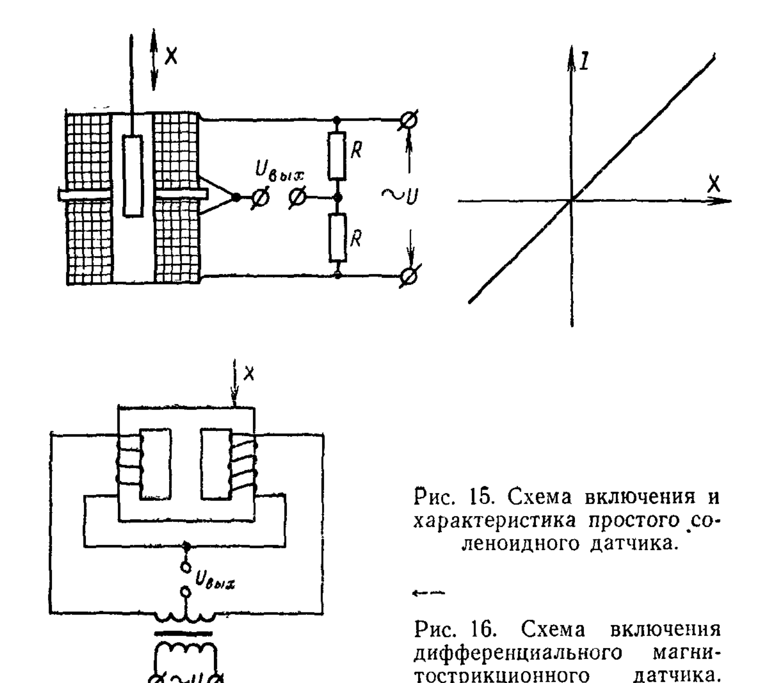


Рис. 15. Схема включения и характеристика простого соленоидного датчика.

←

Рис. 16. Схема включения дифференциального магнитострикционного датчика.

В результате этого изменяется индуктивность катушки и величина выходного напряжения $U_{вых}$.

Емкостные датчики

Действие емкостных датчиков основано на использовании зависимости емкости конденсатора C от площади пластин S, расстояния между ними δ и диэлектрической проницаемости среды ε.

Для плоского конденсатора эта зависимость выражается формулой

$$C = \frac{\varepsilon S}{\delta}.$$

Емкостный датчик перемещения с переменным зазором, дифференциальный емкостный датчик и их характеристики показаны на рис. 17.

На рис. 18 показан емкостный датчик, основанный на изменении диэлектрической проницаемости среды между пластинами. В этом случае емкость датчика определяется выражением

$$C = b[H\varepsilon_0 + h(\varepsilon - \varepsilon_0)], \quad S = bh,$$

где ε_0 — электрическая постоянная воздуха.

Часто встречающимся примером такого датчика является емкостный уровнемер (рис. 19).

В реальных устройствах изменение емкости датчика часто регистрируется по изменению частоты генератора, в колебательный контур которого включен датчик.

Из анализа рассмотренных нами датчиков видно, что все они могут быть разделены на два основных класса:

датчики, которые вырабатывают энергию при воздействии измеряемого параметра (к ним относится, например, термопара, вы-

Рис. 17. Емкостные датчики и их характеристики.
а — с переменным зазором; *б* — дифференциальный.

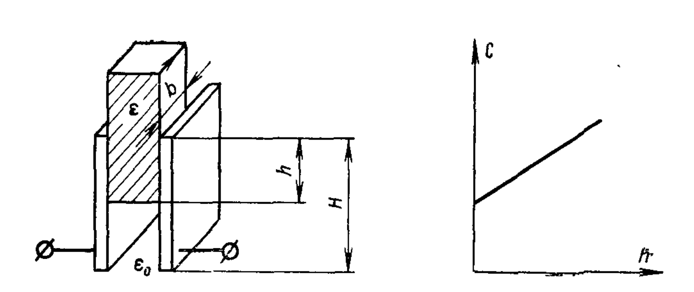


Рис. 18. Емкостный датчик с изменяющейся диэлектрической проницаемостью среды.

рабатывающая э. д. с., значение которой зависит от измеряемой температуры). Такие датчики называются датчиками-генераторами;

датчики, которые при воздействии измеряемого параметра изменяют свою основную электрическую характеристику — индуктивность, емкость или сопротивление. Такие датчики называются датчиками-модуляторами.

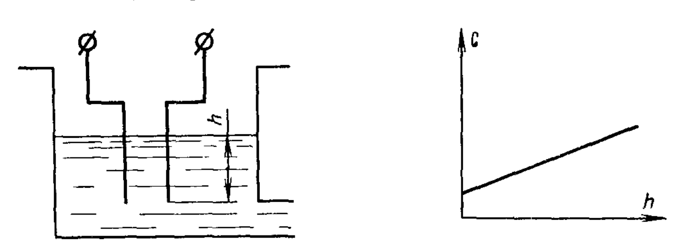


Рис. 19. Схема емкостного уровнемера и его характеристика.

Для разных классов датчиков применяются различные схемы их включения в автоматические устройства.

Рассмотренные нами датчики находят широкое и самое разнообразное применение благодаря простоте устройства и изготовления, хотя и представляют далеко не полный перечень всех известных в настоящее время преобразователей.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ

Схемы включения датчиков-генераторов

Простейшая схема включения датчика-генератора показана на рис. 20. Значение тока, протекающего через измерительный прибор или, как принято говорить, «в цепи нагрузки», определяется по формуле

$$I = \frac{E_x}{R_0 + r + R_н},$$

где R_0 — внутреннее сопротивление датчика; $R_н$ — сопротивление нагрузки (внутреннее сопротивление прибора); r — сопротивление соединительных проводов; E_x — э. д. с., возникающая под воздействием усилия X.

Обычно сопротивление датчика и проводов изменяется в зависимости от температуры или окружающих условий, поэтому следует применять измерительные приборы с большим внутренним сопротивлением.

В этом случае (при $R_н \gg R_0 + r$) напряжение на нагрузке (клеммах измерительного прибора) будет определяться выражением

$$U_н = \frac{R_н E_x}{R_0 + r + R_н} \approx E_x.$$

Внутреннее сопротивление термопар из металлических проводников $R_0 \approx 1$ Ом при нормальной температуре возрастает до 5—6 Ом при температуре 1000—1500° С. Сопротивление проводов r также порядка 5—10 Ом, поэтому для измерения температуры без внесения дополнительных поправок следует применять измерительные приборы (милливольтметры) с внутренним сопротивлением более 100 Ом. При использовании приборов с меньшим внутренним сопротивлением или для более точных измерений необходимо вносить поправки на изменение сопротивления термопары и соединительных проводов.

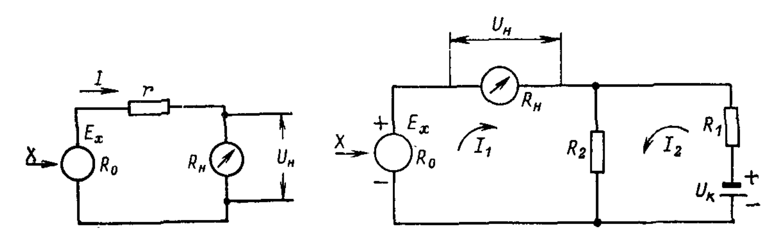


Рис. 20. Схема включения датчика-генератора.

Рис. 21. Схема компенсационного измерения.

Рассмотренная схема называется схемой прямого измерения и позволяет измерять полное значение параметра (в приведенном примере — температуру). Недостатком этой схемы является то, что она не позволяет получить более точное измерение параметра в заданном диапазоне. Например, нужно не только определить температуру среды, но и с высокой точностью измерить изменение этой температуры в диапазоне от 100 до 110° С. В этом случае целесообразно было бы добиться нулевого показания прибора при температуре 100° С и 100%-ного использования шкалы при температуре 110°С.

Схемы, позволяющие измерять не абсолютное значение параметра, а фиксировать его изменение на интересующем нас участке, называются схемами компенсационного измерения. Простейшая схема компенсационного измерения показана на рис. 21.

Произведем расчет измерительной цепи, воспользовавшись методом контурных токов:

$$I_1(R_0+R_н+R_2)+I_2R_2=E_x;$$

$$I_1R_2+I_2(R_1+R_2)=U_к.$$

Найдем определители системы:

$$\Delta=\begin{vmatrix}(R_0+R_н+R_2), & R_2\\ R_2, & (R_1+R_2)\end{vmatrix}=(R_0+R_н+R_2)(R_1+R_2)-R_2^2;$$

$$\Delta_1=\begin{vmatrix}E_x, & R_2\\ U_к, & (R_1+R_2)\end{vmatrix}=E_x(R_1+R_2)-U_кR_2.$$

Отсюда $I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{E_x (R_1 + R_2) - U_к R_2}{(R_0 + R_н + R_2)(R_1 + R_2) - R_2^2}$.

Чтобы обеспечить начальную компенсацию тока через измерительный *прибор, нужно так выбрать напряжение компенсационной* батареи $U_к$ и сопротивления делителя R_1 и R_2, чтобы ток $I_1 = 0$ при температуре 100° С. Тогда

$$E_x (R_1 + R_2) = U_к R_2$$

или

$$R_1 = \frac{U_к R_2}{E_x} - R_2.$$

Если мы применяем термопару типа хромель—алюмель, то по табл. 3 приложения находим, что при $t = 100$°С

$$E_x = 4{,}1 \text{ мВ}.$$

Задаваясь значением $U_к = 1{,}5$ В и $R_2 = 20$ Ом, находим

$$R_1 = \frac{1500 \cdot 20}{4{,}1} - 20 = 7297 \text{ Ом}.$$

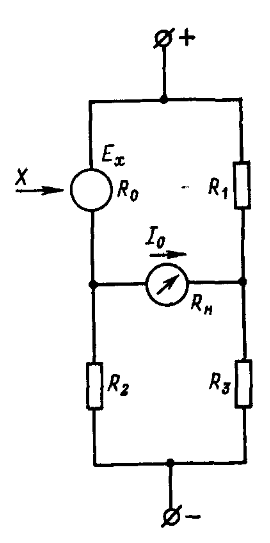


Рис. 22. Мостовая схема включения датчика-генератора.

При $t = 110$°С $E_x = 4{,}51$ мВ.

Допустим, что измерение производится милливольтметром с внутренним сопротивлением $R_н = 30$ Ом, а сопротивление термопары $R_0 \approx 1$ Ом. Тогда значение тока при $t = 110$°С

$$I_1 = \frac{4{,}51\,(7297 + 20) - 1500 \cdot 20}{(1 + 30 + 20)(7297 + 20) - 20^2} = 0{,}008 \text{ мА}$$

и напряжение на зажимах милливольтметра составит:

$$U_н = I_1 R_н = 0{,}008 \cdot 30 = 0{,}24 \text{ мВ}.$$

Часто датчик-генератор включают в мостовую схему измерения (рис. 22). Значения сопротивлений плеч моста выбирают так, чтобы соблюдалось равенство $R_0 R_3 = R_2 R_1$. При этом ток через измерительный прибор, включенный в диагональ моста,

$$I_0 = \frac{E_x}{R_н \left(1 + \frac{R_0 + R_1}{R_2 + R_3}\right) + R_0 + R_1}.$$

Схемы включения датчиков-модуляторов

Простейшей схемой последовательного включения датчика-модулятора является схема непосредственного измерения (рис. 23). В общем виде питание осуществляется от источника переменного

тока $\dot{U}$, а датчик можно представить как комплексное сопротивление Z_x.

Ток, протекающий через нагрузку, равен:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z_н + Z_0 + \Delta Z_x},$$

где ΔZ_x — изменение комплексного сопротивления датчика при воздействии измеряемого параметра X; Z_0 — начальное комплексное сопротивление датчика.

Если датчик реостатного типа, то Z_x является омическим сопротивлением, т. е. $Z_x = R_x$. Если датчик емкостного типа, то

$$Z_x = \frac{1}{j\omega C_x},$$

где ω — частота источника питания U; C_x — изменяющаяся емкость датчика.

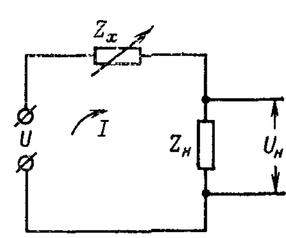
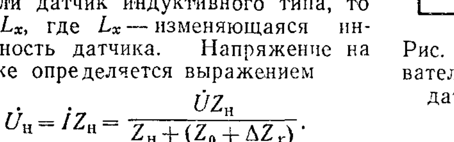


Рис. 23. Схема последовательного включения датчика-модулятора.

Если датчик индуктивного типа, то $Z_x = j\omega L_x$, где L_x — изменяющаяся индуктивность датчика. Напряжение на нагрузке определяется выражением



$$\dot{U}_н = \dot{I} Z_н = \frac{\dot{U} Z_н}{Z_н + (Z_0 + \Delta Z_x)}.$$

Наиболее распространена мостовая схема включения датчика (рис. 24). Элементы этой схемы подбираются так, чтобы при $Z_x = Z_0$ мост находился в равновесии, т. е. ток, протекающий через измерительный прибор, был равен нулю. Для этого необходимо выполнение следующего равенства:

$$Z_0 Z_4 = Z_2 Z_3. \qquad (1)$$

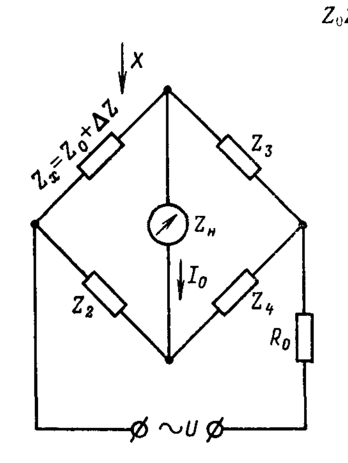


Рис. 24. Мостовая схема включения датчика-модулятора.

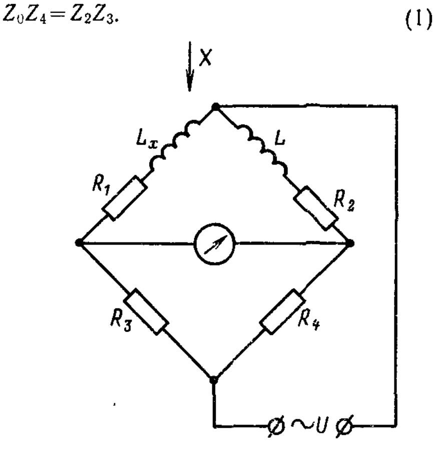


Рис. 25 Мостовая схема включения индуктивного датчика

Рассмотрим для примера мостовую схему с индуктивным датчиком L_x (рис. 25). Из условия равновесия (1) получим:

$$(R_1+j\omega L_x)R_4=(R_2+j\omega L)R_3$$

или

$$R_1R_4+j\omega L_x R_4=R_2R_3+j\omega LR_3.$$

Из правила равенства комплексных величин известно, что две комплексные величины равны, если равны их действительные и мнимые числа, т. е. схема будет в равновесии при следующих условиях:

$$R_1R_4=R_2R_3 \text{ и } L_xR_4=LR_3. \tag{2}$$

На практике обычно выбирают $L_{x0}=L$. Это вызвано следующим обстоятельством: при любых измерениях датчик подвергается не только воздействию измеряемого параметра, но и внешним воздействиям окружающей среды — изменениям температуры, влажности, давления и т. п., которые также изменяют величину сопротивления датчика (в нашем примере величину L_x).

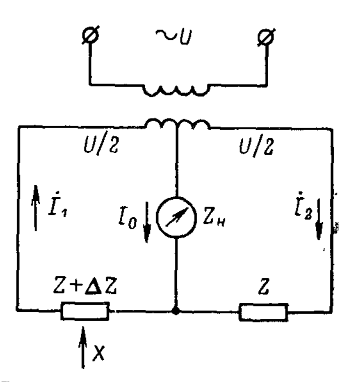


Рис. 26. Дифференциальная схема включения датчика-модулятора.

Таким образом, из равенства (2) видно, что если выбрать $L_{x0}=L$, конструктивно выполнить их одинаковыми и поместить в одни и те же условия, то изменение этих условий не будет сказываться на равновесии мостовой схемы и ток, протекающий через диагональ моста, будет равен нулю до тех пор, пока измеряемый параметр X не изменит значение L_x (величина L при этом не подвергается воздействию параметра X).

В этом заключается основное преимущество мостовой схемы измерения перед схемой непосредственного измерения (см. рис. 23), которая не позволяет устранить погрешности от воздействия внешних дестабилизирующих факторов.

При изменении величины X в измерительной цепи мостовой схемы (см. рис. 24) возникнет ток:

$$\dot{I}_0=\frac{\dot{U}\,[(Z_0\pm\Delta Z)\,Z_4-Z_2Z_3]}{Z_н\,[(Z_0+\Delta Z)+Z_3]\,(Z_2+Z_4)+(Z_0\pm\Delta Z)\,Z_2Z_3+Z_2Z_3Z_4+}\times$$

$$\times\frac{1}{+Z_3Z_4\,(Z_0\pm\Delta Z)+Z_4\,(Z_0\pm\Delta Z)\,Z_2}.$$

В ряде случаев применяют дифференциальные схемы, питание которых осуществляется через трансформатор с двумя вторичными обмотками (рис. 26).

Измеряемый ток при такой схеме равен разности токов:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = \frac{\frac{\dot{U}}{2}\Delta Z}{ZZ_{\text{н}} + (Z + \Delta Z)(Z_{\text{н}} + Z)}.$$

Учитывая, что $\Delta Z \to 0$, получаем:

$$\dot{I}_0 \approx \frac{\frac{\dot{U}}{2}\Delta Z}{Z(2Z_{\text{н}} + Z)}.$$

Такая схема включения датчика также устойчива к воздействию внешних дестабилизирующих факторов, так как в соседние плечи схемы включены одинаковые датчики Z, один из которых подвергается воздействию измеряемой величины X. Чувствительность дифференциальной схемы несколько выше, чем мостовой. Однако недостатком ее является необходимость применения трансформатора.

СХЕМЫ БЛОКОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Транзисторный ключ

Значение электрического сигнала, получаемого от датчика, обычно невелико, и для его измерения чаще всего необходимо предварительное преобразование и усиление сигнала с помощью полупроводниковых или ламповых импульсных устройств или усилителей. В основе большинства импульсных схем на полупроводниковых приборах лежит транзисторный ключ, т. е. устройство, имеющее два основных состояния — открытое и закрытое в зависимости от значения и знака управляющего сигнала. На рис. 27 показано включение транзистора типа *р-п-р* по схеме с общим эмиттером. Открытое состояние этого ключа характеризуется тем, что транзистор находится в режиме насыщения, при котором через его коллектор протекает ток:

$$I_{\text{к}} \approx E_{\text{к}}/R_{\text{к}}.$$

Это происходит при подаче на базу отрицательного (относительного эмиттера) сигнала $U_{\text{б э}} < 0$, обеспечивающего ток базы:

$$I_{\text{б}} > I_{\text{к}}/\beta,$$

где β — коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером.

Закрытое состояние ключа характеризуется тем, что ток коллектора $I_{\text{к}}$ практически равен нулю. Это происходит при поступлении на базу транзистора положительного (относительно эмиттера) сигнала, т. е. $U_{\text{б э}} > 0$. При этом ток базы $I_{\text{б0}} \approx -I_{\text{к0}}$, где $I_{\text{к0}}$ — обратный ток коллектора.

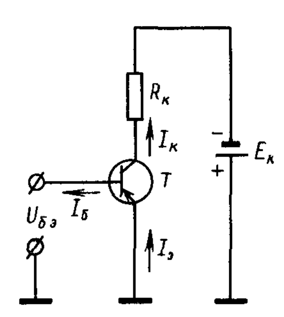


Рис. 27. Принципиальная схема транзисторного ключа.

Эти два состояния транзистора — открытое и закрытое — определяются соответственно точками A и B на семействе выходных характеристик, приведенных на рис 28 Минимальный ток ключа соответствует точке B, так как на базе действует положительное

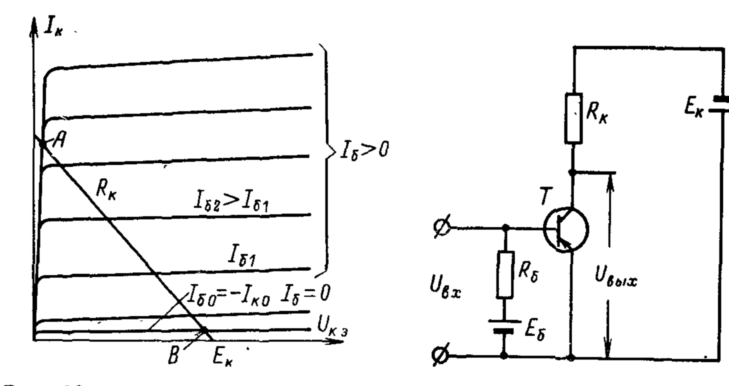


Рис. 28. Выходные характеристики транзистора.

Рис. 29. Принципиальная схема транзисторного ключа с дополнительным источником питания.

смещение (транзистор закрыт). В точке A транзистор открыт и находится в режиме насыщения, т. е. протекающий через него ток — наибольший при заданных значениях напряжения источника питания $E_к$ и сопротивления нагрузки $R_к$, и дальнейшее увеличение тока базы не приводит к увеличению тока коллектора. Напомним, что положительным током базы ($I_б$) считается ток, вытекающий из базы (см. рис. 27).

Обычно исходное состояние транзисторного ключа закрытое и обеспечивается подачей на базу положительного напряжения от дополнительного источника $E_б$ (рис. 29). Значение $E_б$ выбирается так, чтобы:

$$E_б \geqslant I_{б0} R_б.$$

Существует достаточно большое количество транзисторных ключей и способов их запирания. Однако наиболее распространенным является рассмотренный нами ключ, являющийся основой создания целого ряда импульсных схем. Рассмотрим некоторые из них.

Симметричный триггер

Симметричным триггером называется устройство, имеющее два устойчивых состояния — в одном из них выходное напряжение практически равно напряжению источника питания, в другом — выходное напряжение близко к нулю.

Триггер (рис. 30) представляет собой сочетание двух транзисторных ключей, в которых входная базовая цепь одного ключа соединяется с выходной коллекторной цепью второго ключа через форсирующую цепочку. Рассмотрим работу схемы. Пусть транзистор T_1 открыт и находится в режиме насыщения, тогда потенциал его коллектора $U_{к1} \approx 0$ и на базе второго транзистора T_2 будет поло-

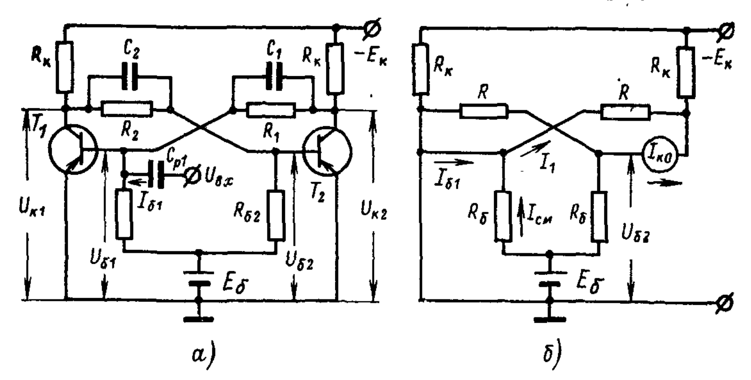


Рис. 30. Схемы симметричного триггера с внешним смещением.
а — принципиальная; б — эквивалентная.

жительный потенциал, подаваемый от источника $E_б$ через делитель $R_{б2}$, R_2. Следовательно, второй транзистор будет закрыт и потенциал его коллектора $U_{к2} \approx -E_к$, а на базу транзистора T_1 подается отрицательное смещение.

Таким образом, схема занимает одно из двух устойчивых состояний. При подаче на базу транзистора T_1 положительного входного сигнала через разделительный конденсатор $C_{р1}$ транзистор T_1 запирается, потенциал $U_{к1}$ становится отрицательным и, поступая на базу транзистора T_2, переводит его в состояние насыщения. Схема переходит во второе устойчивое состояние, из которого ее можно вывести, подав отрицательный входной сигнал во входную цепь транзистора T_1.

Определим условия, при которых в триггере обеспечиваются два устойчивых состояния. Если транзистор T_1 открыт и насыщен, а транзистор T_2 закрыт, через базу первого транзистора протекает ток $I_{б1}$, а ток базы второго транзистора $I_{б2} \approx I_{к0}$.

Рассмотрим работу второго (закрытого) транзистора. Из эквивалентной схемы можно определить, что потенциал базы транзистора T_2 (относительно его эмиттера) равен:

$$U_{б2} = \frac{R_б R}{R + R_б}\left(\frac{E_б}{R_б} - I_{к0}\right). \quad (3)$$

Для того чтобы транзистор был надежно закрыт, необходимо, чтобы потенциал его базы относительно эмиттера был положительным; или из уравнения (3) получим, что для запирания транзистора T_2 необходимо выполнение неравенства

$$\frac{E_б}{R_б} - I_{к0} \geqslant 0.$$

Отсюда сопротивление в цепи базы не должно превышать значения

$$R_б \leqslant \frac{E_б}{I_{к0}}.$$

Цепь $E_б$, $R_б$ называется цепью смещения, а ток $I_{см}=E_б/R_б$ — током цепи смещения.

Аналогично можно получить, что для насыщения первого транзистора необходимо выполнить условие:

$$I_{б1} \geqslant I_{б.\,нас} = \frac{I_{к.нас} - I_{к0}\beta}{\beta} \approx \frac{I_{к.\,нас}}{\beta} = \frac{E_к}{\beta R_к}.$$

На практике наибольшее распространение получил триггер с автоматическим смещением, главным достоинством которого является наличие только одного источника питания $E_к$. Это обеспечивает устойчивую работу схемы, так как напряжение смещения в таком триггере пропорционально $E_к$, тогда как в основной схеме (см. рис. 30) $E_б$ и $E_к$ независимы и изменение одного из них может нарушить условия стабильности схемы.

Напряжение автоматического смещения на базах транзисторов (рис 31, *а*) возникает за счет сопротивления резистора $R_э$, создаю-

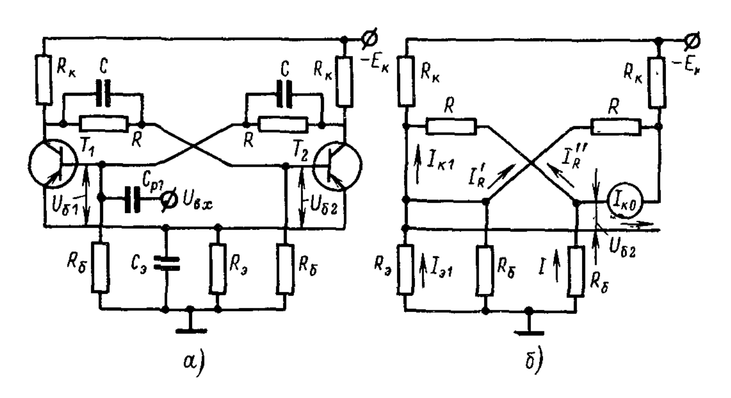


Рис. 31. Схемы триггера с автоматическим смещением.
а — принципиальная, *б* — эквивалентная.

щего на эмиттере отрицательный потенциал при протекании тока открытого транзистора. Конденсатор $C_э$ служит для устранения нежелательной отрицательной обратной связи, возникающей при опрокидывании триггера.

Определим условия существования двух устойчивых состояний. Пусть, например, транзистор T_1 открыт, а T_2 закрыт. Эквивалентная схема триггера в этом состоянии изображена на рис. 31, *б*. Если учесть, что обычно $I_{к1} \approx I_{э1}$ и $I_{к1} \gg I''_R$, то схема описывается следующими уравнениями:

$$U_{б_2} = R_б I - R_э I_{к1}; \quad I = I''_R + I_{к0};$$

$$I_R'' = \frac{E_к - IR_б}{R + R_к};$$

$$I_{к1} = \frac{E_к}{R_{к1} + R_э}.$$

Решая эти уравнения совместно, получаем формулу для расчета напряжения смещения:

$$U_{б2} = R\frac{R_э E_к - R_б(R_э + R_к) I_{к0}}{(R + R_б)(R_э + R_к)}.$$

Для того чтобы транзистор T_2 был надежно закрыт даже при максимальной температуре, т. е. при максимально возможном $I_{к0}$, необходимо, чтобы соблюдалось неравенство $U_{б_2} > 0$ или

$$R_э E_к - R_б(R_э + R_к) I_{к0 макс} > 0,$$

откуда

$$R_б \leqslant \frac{R_э E_к}{(R_э + R_к) I_{к0 макс}}. \qquad (4)$$

Для обеспечения насыщенного состояния первого транзистора достаточно, чтобы:

$$I_{б1} \geqslant \frac{I_{к1}}{\beta} - I_{к0} \approx \frac{I_{к1}}{\beta} = \frac{E_к}{\beta(R_к + R_э)}. \qquad (5)$$

Из эквивалентной схемы, пренебрегая значением $R_к \ll R$, запишем:

$$R_э(I_{к1} + I_{б1}) + I_R' R = E_к;$$

$$(I_R' - I_{б1}) R_б = R_э I_{к1},$$

откуда, принимая во внимание, что $I_{к1} \gg I_{б1}$, получаем:

$$I_{б1} = \frac{E_к}{R} - I_{к1}\frac{R_э}{R}\left(1 + \frac{R}{R_б}\right). \qquad (6)$$

Подставляя значение тока $I_{б1}$ из уравнения (5) в уравнение (6), получаем условие насыщения первого транзистора:

$$R \leqslant \frac{\beta R_б R_к}{R_б + \beta R_э}.$$

В рассмотренных схемах изменение состояния триггера или, как принято говорить, «запуск» триггера осуществляется при подаче управляющих импульсов на базу одного из транзисторов (T_1). При этом полярность этих импульсов должна чередоваться: положительный импульс закрывает транзистор T_1, а отрицательный — открывает.

Однако запуск триггера может производиться самыми различными способами Рассмотрим еще один из них, в котором входные импульсы подаются на базы транзисторов через общий вход. Такой триггер называется триггером с общим входом (рис. 32). Для того чтобы перевести триггер из одного устойчивого состояния в другое, необходимо подавать импульсы положительной полярности, которые будут проходить на базу открытого транзистора и закрывать его.

Как правило, запуск осуществляют через развязывающие диоды $Д_1$, $Д_2$.

Расчет симметричного триггера заключается в таком выборе всех его элементов, который обеспечивал бы получение необходимой амплитуды импульсов на выходе $U_{вых}$ и частоты переключения, определяемой соотношением $f_{макс} \leqslant 1/[(2 \div 3) R_б C]$.

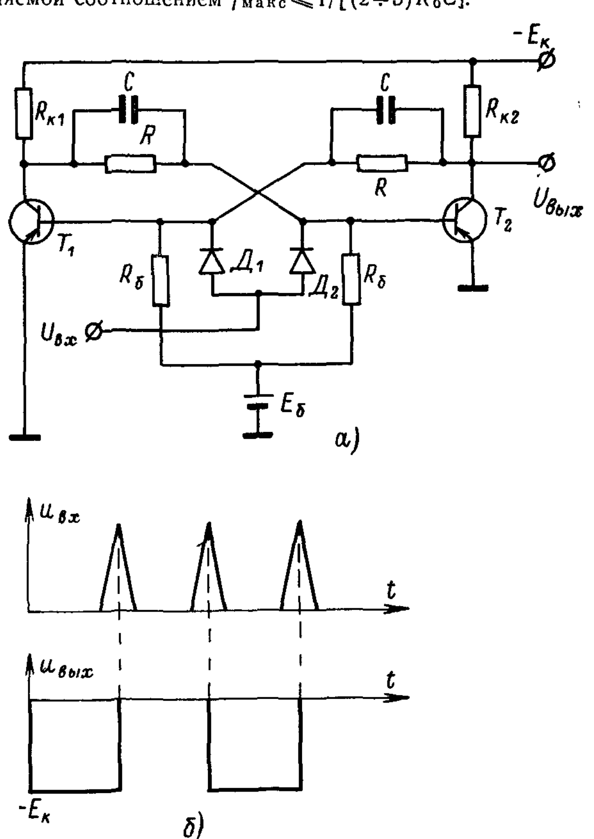


Рис. 32. Триггер с общим входом.
а — принципиальная схема, *б* — временные диаграммы.

Пример. Рассчитать триггер с автоматическим смещением и с общим входом при следующих данных: амплитуда выходных импульсов $U_{вых} \geqslant 13$ В; частота переключения $f_{макс} = 350$ кГц; максимальная температура окружающей среды $t_{макс} = 60$°С.

1. Выбираем напряжение источника питания, задаваясь, как обычно, $U_э = 2 \div 3$ В:

$$E_к = (1{,}1 \div 1{,}2)\ U_{вых} + U_{э\ макс} = 1{,}2 \cdot 13 + 3 \approx 20 \text{ В}.$$

2. По заданной амплитуде выходных импульсов и частоте

переключения выбираем транзисторы типа МП40А, имеющие следующие параметры:

$$E_{\text{к.доп}}=40\ \text{В};\quad I_{\text{комакс}}=0{,}15\ \text{мА};\quad \beta\approx 20;\quad f_\alpha=1\ \text{МГц}.$$

3. Выбираем $R_{\text{к1}}=R_{\text{к2}}=2$ кОм.

4. Емкость конденсатора C выбираем так, чтобы за время опрокидывания триггера напряжение на нем практически оставалось неизменным. Обычно $C=200\div500$ пФ. Выбираем $C=200$ пФ$=200\cdot10^{-12}$ Ф.

5. Находим:

$$R_{б}\leqslant\frac{1}{(2\div3)\,Cf_{\text{макс}}}\leqslant\frac{1}{3\cdot200\cdot10^{-12}\cdot350\cdot10^{3}}=4{,}8\ \text{кОм}.$$

Принимаем $R_б=4{,}7$ кОм.

6. Рассчитаем сопротивление резистора в цепи эмиттера:

$$R_{э}\geqslant\frac{R_{б}R_{к}I_{\text{ко макс}}}{E_{к}-R_{б}I_{\text{ко макс}}}=\frac{4{,}7\cdot10^{3}\cdot2\cdot10^{3}\cdot0{,}12\cdot10^{-3}}{20-4{,}7\cdot10^{3}\cdot0{,}15\cdot10^{-3}}\approx58\ \text{Ом}.$$

Принимаем $R_э=100$ Ом.

7. Находим сопротивления резисторов коллекторно-базовых связей:

$$R\leqslant\frac{\beta R_{б}R_{к}}{R_{б}+R_{э}\beta}=\frac{20\cdot4{,}7\cdot10^{3}\cdot2\cdot10^{3}}{4{,}7\cdot10^{3}+100\cdot20}=28{,}2\ \text{кОм}.$$

Принимаем $R=25$ кОм.

8. Выбираем емкость конденсатора в цепи автоматического смещения в пределах 1000—5000 пФ.

Принимаем $C=1000$ пФ.

Триггер с эмиттерной связью

Кроме рассмотренных симметричных триггеров, широкое распространение получил несимметричный триггер или триггер с эмиттерной связью. Этот триггер также имеет два устойчивых состояния (рис. 33) и часто применяется в качестве преобразователя синусоидального или линейноизменяющегося напряжения в импульсы прямоугольной формы. Переход триггера из одного устойчивого состояния в другое происходит при $|U_{\text{вх}}|>|U_э|$ (рис. 34). Основные условия, при которых триггер будет иметь два устойчивых состояния, можно получить исходя из известных уже нам основных свойств транзисторного ключа:

1) транзистор закрыт, если $U_{б.э}>0$;

2) транзистор насыщен, если

$$I_б\geqslant I_к/\beta.$$

Тогда из анализа эквивалентных схем (см. рис. 33) получим следующие расчетные уравнения:

$$R\leqslant\beta R_б\,\frac{E_{к}R_{к2}-I_{\text{ко макс}}R_{к1}(R_{э}+R_{к2})}{E_{к}(R_{б}+R_{э}\beta)};$$

Рис. 33. Схемы триггера с эмиттерной связью.

а — принципиальная; *б* — эквивалентная при открытом транзисторе T_1; *в* — эквивалентная при открытом транзисторе T_2

$$R_2 > \frac{\beta R_э R_{к1} E_к}{R_{к2} E_к + \beta R_{к1}(R_{к2} + R_э) I_{к0\,макс}};$$

$$R_1 \leqslant \frac{\beta R_2 R_{к1}}{\beta R_э + R_2}; \quad R_э = \frac{E_к - U_{вых}}{U_{вых}} R_{к2}.$$

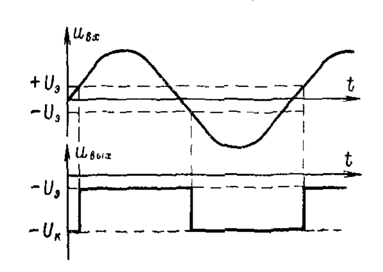


Рис. 34. Временные диаграммы триггера с эмиттерной связью.

Значения $R_б$ и C определяются так же, как и для симметричного триггера.

Пример. Рассчитать триггер с эмиттерной связью при следующих данных: $U_{вып} \geqslant 17$ В, период запускающих импульсов с чередующейся полярностью $T = 5$ мкс, температура окружающей среды $t_{макс} \leqslant 60$°С.

1. Выбираем напряжение источника питания, задаваясь $U_э = 2 \div 3$ В:

$$E_к = (1{,}1 \div 1{,}2)\, U_{вых} + U_э \approx 20 \text{ В},$$

2. По заданной амплитуде выходных импульсов и частоте переключения выбираем транзисторы типа МП40А:

$$E_{\text{к.доп}} = 40 \text{ В}; \quad I_{\text{ко макс}} = 0{,}15 \text{ мА}; \quad \beta = 20; \quad f_\alpha = 1 \text{ МГц}.$$

3 Выбираем $R_{к2}=2$ кОм, $R_{к1}=5{,}1$ кОм, $C=200$ пФ.
4. Находим:

$$R_б < \frac{T}{(2\div 3)C} = \frac{5\cdot 10^{-6}}{(2\div 3)\cdot 200\cdot 10^{-12}} = (8{,}3\div 12{,}5)\cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Принимаем $R_б = 10$ кОм.
5. Определяем:

$$R_э = \frac{E_к - U_{вых}}{U_{вых}} R_{к2} = \frac{20-17}{17}\cdot 2\cdot 10^3 \approx 350 \text{ Ом}.$$

Принимаем $R_э = 360$ Ом.
6. Находим:

$$R \leqslant \beta R_б \frac{E_к R_{к2} - I_{\text{ко макс}} R_{к1}(R_э + R_{к2})}{E_к (R_б + R_э \beta)} =$$

$$= \frac{20\cdot 10^4 (20\cdot 2\cdot 10^3 - 0{,}15\cdot 10^{-3}\cdot 5{,}1\cdot 10^3\cdot 2{,}36\cdot 10^3)}{20(10^4 + 360\cdot 20)} \approx 22 \text{ кОм}.$$

Принимаем $R = 18$ кОм.
7. Рассчитываем

$$R_2 > \frac{\beta R_э R_{к1} E_к}{R_{к2} E_к + \beta R_{к1}(R_{к2} + R_э) I_{\text{ко макс}}} =$$

$$= \frac{20\cdot 360\cdot 5{,}1\cdot 10^3\cdot 20}{2\cdot 10^3\cdot 20 + 20\cdot 5{,}1\cdot 10^3\cdot 2{,}36\cdot 0{,}15} = 9{,}5 \text{ кОм}.$$

Принимаем $R_2 = 10$ кОм.
8. Определяем:

$$R_1 \leqslant \frac{\beta R_2 R_к}{\beta R_э + R_2} = \frac{20\cdot 10\cdot 10^3\cdot 5{,}1\cdot 10^3}{20\cdot 360 + 10\cdot 10^3} \approx 58 \text{ кОм}.$$

Принимаем $R_1 = 51$ кОм.

Симметричный мультивибратор

Симметричный мультивибратор относится к группе импульсных устройств, известных под названием релаксационных генераторов. Релаксационными генераторами называются устройства, вырабатывающие сигналы сложной формы, отличной от синусоидальной (формы «пилы», прямоугольной формы и др.). Релаксационные генераторы имеют накопитель энергии (чаще всего в виде конденсатора) и ключ (электронная лампа, транзистор), переключение которого обусловлено запасом энергии в накопителе.

Примером простейшего релаксационного генератора является генератор на неоновой лампе (рис. 35). Когда лампа погашена и ее внутреннее сопротивление велико, происходит заряд конден-

сатора C через большое сопротивление R. Как только напряжение на конденсаторе $U_{вых}$ достигает потенциала зажигания, неоновая лампа зажигается и происходит быстрый разряд конденсатора через лампу до напряжения, равного потенциалу гашения. Затем процесс повторяется.

Подобной автоколебательной релаксационной системой становится триггер, если одну или обе из его коллекторно-базовых реостатно-емкостных связей сделать чисто емкостными. Тогда одно или оба из устойчивых состояний равновесия превращаются в неустойчивые, длительность которых определяется постоянной времени цепи заряда и разряда конденсаторов связи. Генераторы импульсов, построенные таким образом, называются мультивибраторами. Мультивибраторы могут работать в режиме автоколебаний или в ждущем режиме в качестве спусковой схемы.

Работа симметричного мультивибратора (рис. 36) протекает следующим образом. Пусть в начальный момент транзистор T_1, кото-

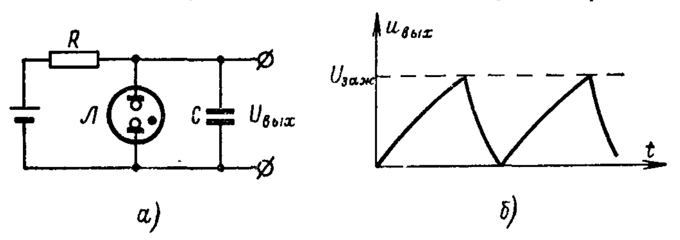


Рис. 35. Релаксационный генератор на неоновой лампе.
а — принципиальная схема; *б* — временная диаграмма.

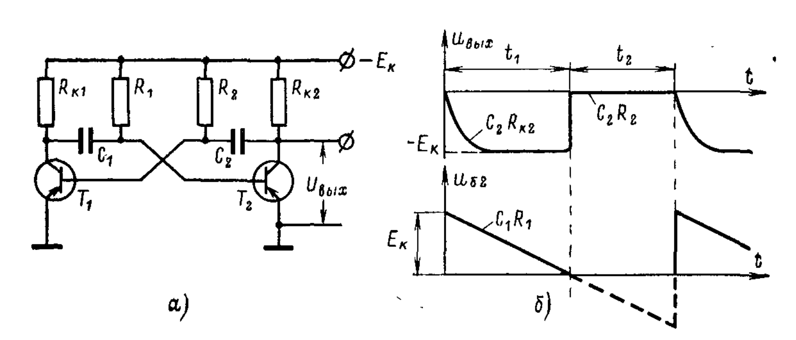


Рис. 36. Симметричный мультивибратор.
а — принципиальная схема; *б* — временные диаграммы

рый до этого был закрыт, открывается и переходит в насыщенное состояние. Тогда все напряжение на конденсаторе C_1, который был заряжен до значения $U_c \approx E_к$, оказывается приложенным своим положительным потенциалом к базе транзистора T_2. Транзистор T_2 запирается. Конденсатор C_1 начинает разряжаться за счет протекания тока разряда через резистор R_1, а положительный потенциал

базы транзистора T_2 падает. Как только напряжение на базе T_2 станет равным нулю, транзистор T_2 откроется. Одновременно с разрядом конденсатора C_1 происходит заряд конденсатора C_2 через резистор $R_{к2}$ до значения коллекторного напряжения тризистора T_2:

$$U_{c2} \approx U_{к2} = -E_к.$$

Как только T_2 откроется, положительный потенциал конденсатора C_2 будет подан на базу транзистора T_1 и закроет его. Далее процесс повторяется.

Постоянные времени цепей разряда конденсаторов C_1 и C_2 соответственно равны:

$$t_1 = 0{,}7C_1R_1; \quad t_2 = 0{,}7C_2R_2.$$

Эти величины и определяют длительность импульсов на выходе мультивибратора (t_1) и интервал между ними (t_2). Регулировку частоты колебаний мультивибратора осуществляют подбором резисторов $R = R_1 = R_2$.

Расчет симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями (рис. 36) производим следующим образом:

1. По заданной максимальной частоте генерации F выбираем тип транзистора, исходя из условия $f_\alpha \geqslant 5\ F$, обеспечивающего форму выходных импульсов, близкую к прямоугольной.

2. Напряжение питания выбираем по заданному $U_{вых}$:

$$E_к \approx 1{,}2\ U_{вых}.$$

3. Сопротивление резисторов $R_к$ вычисляем из соотношения

$$R_к \approx E_к/I_к, \text{ где } I_к < I_{к.\,доп}.$$

Обычно $R_к = 1 \div 3$ кОм.

4. Сопротивления резисторов в цепи базы находим из условия

$$R_1R_2 \leqslant \beta R_к.$$

5. Значения переходных емкостей определяем из следующих выражений:

$$C_1 = \frac{t_1}{0{,}7R_1}; \quad C_2 = \frac{t_2}{0{,}7R_2}.$$

Одновибратор

Одновибратор* с эмиттерной связью (рис. 37), как и симметричный мультивибратор, также является релаксационным генератором. При поступлении на его вход короткого запускающего им-

* Кроме термина «одновибратор» применяются следующие наименования схем данного типа — «кипп-реле», «заторможенный мультивибратор», «ждущий мультивибратор».

пульса на выходе получается прямоугольный импульс, длительность которого определяется элементами схемы.

Одновибратор характеризуется наличием одного устойчивого (T_1 закрыт, T_2 насыщен) и одного временно устойчивого состояния (T_1 насыщен, T_2 закрыт). Длительность временно устойчивого состояния обычно много больше длительности отрицательного входного импульса. Исходное устойчивое состояние обеспечивается

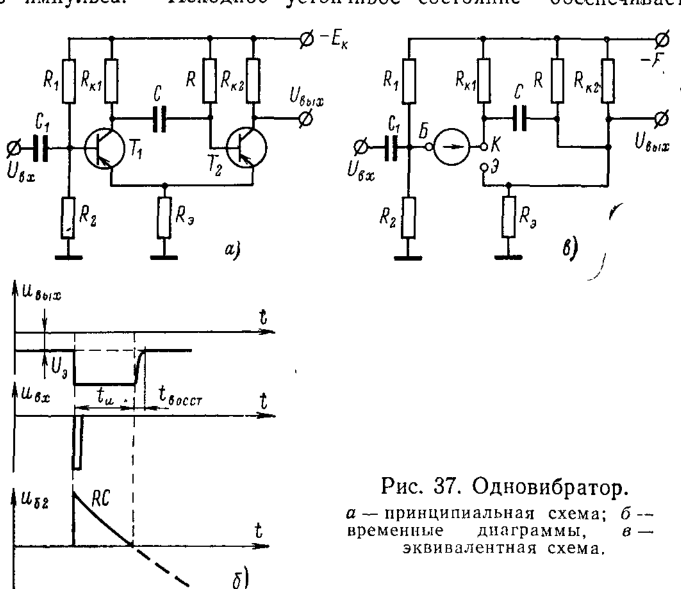


Рис. 37. Одновибратор.

а — принципиальная схема; *б* — временные диаграммы, *в* — эквивалентная схема.

таким выбором резисторов R_1, R_2, $R_э$, чтобы потенциал $U_{б\ э}$ транзистора T_1 был положительным. При подаче короткого отрицательного импульса на вход транзистора T_1 он открывается и напряжение конденсатора C своим положительным потенциалом оказывается приложенным к базе транзистора T_2, что приводит к его запиранию. Транзистор T_2 остается закрытым до тех пор, пока напряжение на его базе не уменьшится (вследствие разряда емкости C по цепи RC) до значения $U_э$.

Статический расчет устойчивого исходного состояния одновибратора можно произвести, воспользовавшись его эквивалентной схемой.

Для запирания транзистора T_1 необходимо выполнение неравенства $U_{б.\ э1}>0$, т. е.

$$U_{б.э}=U_б-U_э=\frac{-E_кR_2}{R_1+R_2}-I_{к0}\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}+\frac{E_кR_э}{\dfrac{RR_{к2}}{R+R_{к2}}+R_э}>0,$$

откуда, считая, что $R\gg R_{к2}$ и $I_{к0}R_1\ll E_к$, получаем:

$$\frac{R_2}{R_1+R_2}<\frac{R_э}{R_{к2}+R_э},\quad \text{или}\quad \frac{R_1}{R_2}>\frac{R_{к2}}{R_э}. \tag{7}$$

Исходя из условия насыщения транзистора T_2, получаем:

$$_{б2} = \frac{E_к - U_{э1}}{R} = \frac{E_к - \frac{E_к R_э}{R_{к2} + R_э}}{R} \gg \frac{E_к}{R_{к2}\beta}$$

или

$$1 - \frac{R_э}{R_{к2} + R_э} \gg \frac{R}{R_{к2}\beta}. \qquad (8)$$

Формулы (/) и (8) позволяют определить значение резисторов R_1; R_2 и R.

Основным фактором, определяющим длительность выходного импульса $t_и$, является перезаряд емкости C через резистор R. При допущениях, что $R \gg R_{к1}$, $U_{к1} < U_{к2} \ll E_к$ и $R_{к1} \approx (2 \div 4) R_{к2}$, длительность выходного импульса можно определить по формуле

$$t_и \approx RC \ln \frac{2+V}{1+V},$$

где $V = I_{к0}R/E_к$ — фактор теплового тока.

Расчет ждущего мультивибратора с эмиттерной связью (см. рис. 37) производится в следующем порядке.

1. Определяем напряжение источника питания:

$$E_к = U_{вых} + R_3 I_{к2} = U_{вых} + (2 \div 3)\ \ B.$$

2. По заданной частоте следования импульсов и напряжению $E_к$ выбираем транзисторы с учетом условия

$$I_{к2} = (2 \div 3)\ \ I_{к1}.$$

3. Рассчитываем сопротивления резисторов схемы:

$$R_э \leqslant \frac{E_к - U_{вых}}{I_{к2}};\ R_{к1} = \frac{E_к}{I_{к1}} - R_э;\ R_{к2} = \frac{E_к}{I_{к2}} - R_э.$$

4. Рассчитываем делитель в цепи базы T_1 по формулам:

$$R_1 \geqslant \frac{\beta I_{к2}(R_{к1} + R_э) - \beta E_к}{\beta I_{к0\,макс} + I_{к2}};\ R_2 = \frac{\beta R_1 R_2}{\beta R_{к1} - R_1}.$$

5. Сопротивление резистора R определяем из условия насыщения транзистора T_2:

$$R \leqslant \beta\ \frac{E_к - R_э I_{к2}}{I_{к2}} = \beta R_{к2}.$$

6. По заданной длительности импульсов определяем значение емкости конденсатора C из формулы $t_и = 0{,}7\ RC$.

7. Правильность выбранного значения C проверяем по времени восстановления схемы, которое должно быть меньше интервала между импульсами:

$$t_{восст} < T = (4 \div 5)\ C \cdot (R_{к1} + R_э).$$

Блокинг-генератор

Блокинг-генератор представляет собой однокаскадный релаксационный генератор кратковременных (до 10^{-9} с) импульсов с индуктивной обратной связью.

Блокинг-генератор может работать как в режиме автоколебаний, так и в ждущем режиме. Отличительной особенностью автоколебаний блокинг-генератора является возможность получения чрезвычайно высокой скважности импульсов (до десятков тысяч), которую не позволяет получить никакой другой генератор. При этом электронная лампа или транзистор находится в облегченном тепловом режиме. Блокинг-генератор может работать также в режиме синхронизации или деления частоты.

Все эти свойства позволяют широко использовать блокинг-генераторы в делителях частоты, счетчиках импульсов, запоминающих устройствах, генераторах пилообразного напряжения и др.

Рассмотрим физические процессы, протекающие в блокинг-генераторе (рис. 38). Пусть в первый момент времени транзистор открыт и в коллекторной цепи протекает ток $I_к$. Тогда во вторичной обмотке трансформатора (обмотке обратной связи) возникнет э. д. с. взаимоиндукции и через базу транзистора будет протекать ток, который снижает потенциал базы. Это приводит к дальнейшему увеличению тока коллектора, т. е. происходит лавинообразный процесс (блокинг-процесс), который протекает столь быстро, что конденсатор C не успевает заряжаться. Лавинообразный процесс

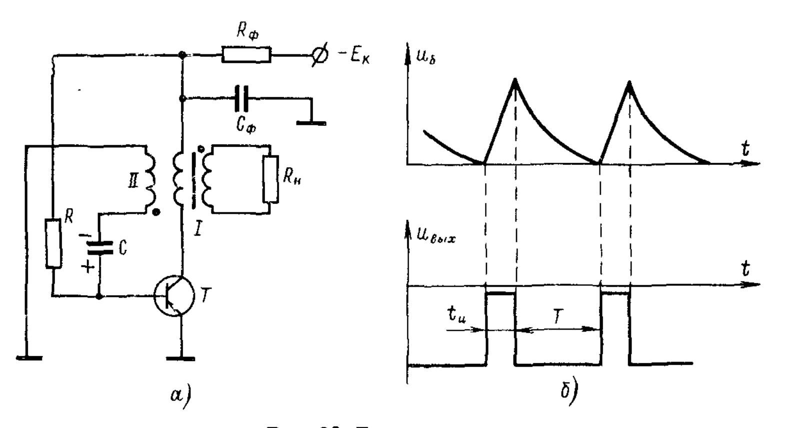


Рис. 38. Блокинг-генератор.
а — принципиальная схема; *б* — временные диаграммы.

увеличения тока коллектора прекращается, когда транзистор достигает насыщения, э. д. с. взаимоиндукции падает до нуля и начинает убывать ток во вторичной обмотке. Это вызывает появление в ней э. д. с. самоиндукции, поддерживающей ток прежнего направления, который убывает по мере заряда конденсатора C. Конденсатор C заряжается через вторичную обмотку трансформа-

тора и открытый транзистор, на базе которого возникает положительный потенциал. Ток коллектора с повышением потенциала базы уменьшается, увеличивая тем самым потенциал базы за счет э. д. с. взаимоиндукции в цепи положительной обратной связи. Это приводит к дальнейшему уменьшению тока коллектора и т. д., т. е. происходит лавинообразный процесс запирания транзистора. К этому моменту напряжение на конденсаторе достигает некоторого максимального значения $U_{макс}$. После запирания транзистора конденсатор начинает разряжаться по цепи — вторичная обмотка трансформатора — источник питания $E_к$. Ток перезаряда создает на резисторе R падение напряжения и транзистор находится в закрытом состоянии до тех пор, пока напряжение на базе не станет близким к нулю. После этого начинается процесс отпирания транзистора.

Автоматические устройства на электронных лампах

Наряду с транзисторами широко применяются электронные лампы, которые, несмотря на определенные недостатки (необходимость применения более мощных источников питания и высокого напряжения), обладают и известными преимуществами — высоким входным сопротивлением (в ламповых схемах потребляемая мощность во входной цепи ничтожна), высоким коэффициентом усиления и устойчивостью к воздействию температуры.

Электронную лампу можно рассматривать как аналог транзистора: анод, сетка и катод соответствуют коллектору, базе и эмиттеру транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Поэтому по своему построению схемы импульсных устройств на электронных лампах во многом подобны аналогичным транзисторным схемам. При этом электронная лампа также *играет роль ключа*, который выключен (закрыт) при отрицательном сигнале на сетке лампы относительно катода и включен (открыт) при напряжении на сетке, близком к нулю.

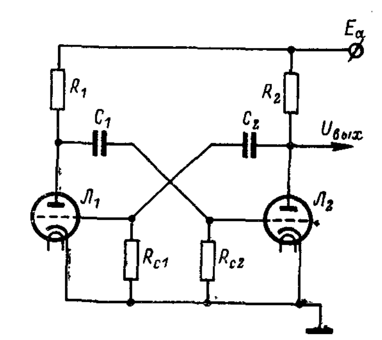


Рис. 39. Принципиальная схема симметричного мультивибратора на электронных лампах.

На рис. 39 приведена схема симметричного мультивибратора, который позволяет получить прямоугольные импульсы частотой от нескольких десятков герц до нескольких сотен килогерц.

Период колебаний симметричного мультивибратора определяется параметрами схемы и может быть вычислен по следующей приближенной формуле: $T \approx C_2R_{c1}\ln K_1 + C_1R_{c2}\ln K_2$, где K_1 и K_2 — коэффициенты усиления каскадов; C_2R_{c1} и C_1R_{c2} — постоянные времени сеточных цепей.

Длительность положительных и отрицательных импульсов одинакова, если $C_2R_{c1} = C_1R_{c2} = RC$. Принимая $K_1 = K_2$, определяем период колебаний: $T = 2RC \ln K$.

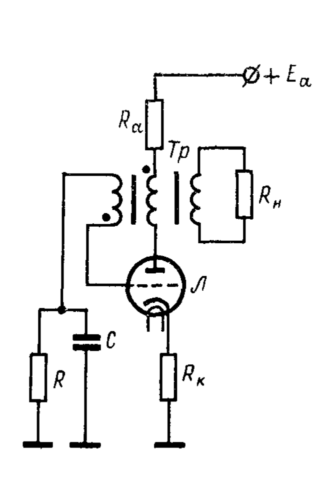


Рис. 40. Принципиальная схема блокинг-генератора на электронной лампе.

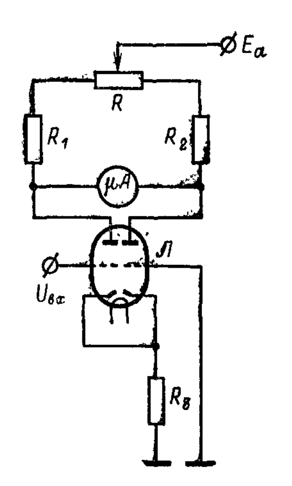


Рис. 41. Принципиальная схема балансного усилителя на двойном триоде.

На рис. 40 показана схема лампового блокинг-генератора. Частота повторения импульсов блокинг-генератора определяется значениями емкости конденсатора C, резистора R и приближенно может быть вычислена по формуле

$$F = \frac{1}{(0,7 \div 1,5)\,RC}.$$

Длительность импульсов определяется выражением

$$t_и \approx CU_c/I_c,$$

где U_c и I_c — напряжение и ток сетки соответственно.

Очень часто в устройствах автоматики применяется балансный усилитель на двойном триоде (рис. 41). Эта схема представляет собой разновидность мостовой схемы (см. рис. 24). Два плеча этой схемы — резисторы R_1 и R_2 и потенциометр R, два других плеча — левая и правая половины двойного триода. Если $R_1 = R_2$ и на сетки лампы не поступают сигналы, мост находится в равновесии, т. е. стрелка микроамперметра, включенного между анодами ламп, находится на нуле. Балансировка моста на нулевую отметку микроамперметра при отсутствии сигнала производится потенциометром R.

Достоинством этого усилителя является то, что он может применяться для усиления сигналов как переменного, так и постоянного тока, в последнем случае лампа выполняет не только функции усилителя, но и выпрямителя. Кроме того, балансный усилитель отличается очень высокой чувствительностью и большим входным сопротивлением, что позволяет применять его с емкостными и пьезоэлектрическими датчиками

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И КОНСТРУКЦИИ АНАЛОГОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Устройства для измерения температуры

На рис. 42 приведена схема потенциометрического электротермометра с термопарой из медного и константанового проводов марки ПЭЛШО 0,1; устройство предназначено для измерения температуры тела человека и градуировано в интервале температур от 15 до 45°С. Термокомпенсация холодного спая осуществляется резистором $R_м$; реостатом R_4 может быть смещено начало шкалы; потенциометром R_{13} можно сместить конец шкалы.

Измерение термо-э.д.с. датчика производится по гальванометру с чувствительностью 10^{-8} А и внутренним сопротивлением 200 Ом.

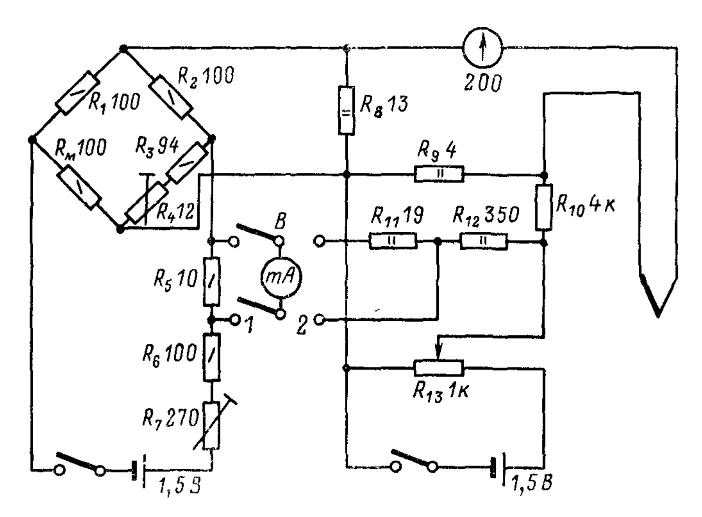


Рис. 42. Принципиальная схема потенциометрического электротермометра.

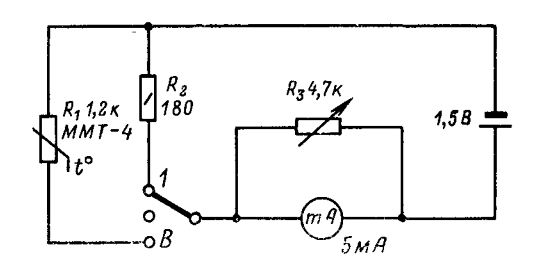


Рис. 43. Принципиальная схема устройства для измерения температуры.

Перед началом измерения в положении *1* переключателя *В* реостатом R_7 стрелку миллиамперметра устанавливают на красную черту, после чего измеряемую величину сравнивают с известной. Для этого в положении *2* переключателя *В* датчик (термопару) помещают на место измерения температуры, ручкой потенциометра R_{13} устанавливают стрелку гальванометра на нуль и по шкале предварительно отградуированного миллиамперметра отсчитывают температуру.

На рис. 43 изображена схема устройства для измерения температуры в интервале от 0 до 120° С с помощью терморезисторного датчика ММТ-4. При положении *1* переключателя *В* с помощью реостата R_3 осуществляется балансировка схемы.

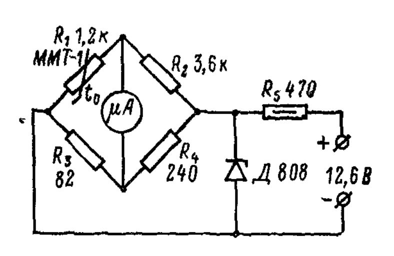


Рис. 44. Мостовая схема для измерения температуры.

Характер градуировки шкалы в интервале от 0 до 120° С нелинейный. При измерении температур выше 100° С схему следует включать на короткое время во избежание перегрева датчика

На рис. 44 приведена мостовая неуравновешенная схема для измерения температур в интервале от 20 до 100° С при помощи терморезистора ММТ-1. Внутреннее сопротивление микроамперметра 920 Ом. Это же устройство позволяет измерять температуру в интервале от 50 до 150°С при помощи терморезистора КМТ-14, если в качестве индикатора применять микроамперметр на 100 мкА. Тогда сопротивления резисторов $R_2 = R_4 = 1$ кОм, а $R_3 = 510$ Ом.

Устройства с терморезисторами следует градуировать по контрольному ртутному термометру, поместив датчик в лабораторный нагревательный шкаф с терморегулятором. Точность измерения определяется классом измерительного прибора и качеством терморезистора.

На рис. 45 приведена схема устройства для дистанционного контроля температуры изделий, нагретых до 170—450° С, на расстоянии от 800 до 1000 мм от их поверхности. Приемником теп-

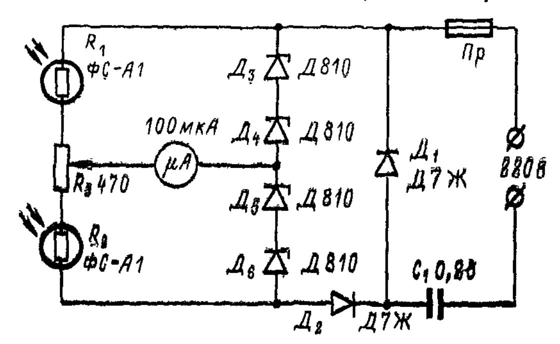


Рис. 45. Принципиальная схема устройства для дистанционного контроля температуры изделий.

лового излучения является фоторезистор ФС-А1 с оптической насадкой, содержащей плосковыпуклую линзу. Этот фоторезистор включен в одно плечо моста R_1. Для снижения погрешности измерения вследствие изменений температуры окружающей среды в другое плечо моста включен такой же фоторезистор, изолированный от света R_2.

Опорные диоды $Д_3$—$Д_5$ стабилизируют напряжение на фоторезисторах. Потенциометр R_3 служит для балансировки мостовой схемы (установки стрелки измерительного прибора на нуль при затемненном фоторезисторе R_1).

Устройство выполнено в металлическом корпусе с рукояткой пистолетного типа. На передней стенке корпуса укреплен фланец с резьбой, с помощью которой устанавливаются сменные оптические насадки.

Оптическая насадка представляет собой стальной тубус, в широкой части которого на резьбе закреплена оправа с плосковыпуклой линзой диаметром 32 мм, имеющей фокусное расстояние 65 мм (выпуклой стороной наружу). Эта резьба используется для оптического фокусирования линзы с целью концентрации потока излучения на чувствительную поверхность фоторезистора. Можно применить другую линзу с близкими к ней характеристиками или типовым объективом.

Для контактного измерения температуры служит сменная трубчатая насадка, торец которой на время измерения прижимают к поверхности нагретого изделия.

Все элементы схемы, за исключением микроамперметра и потенциометра R_3, смонтированы на гетинаксовой плате. Микроамперметр прикреплен к задней стенке угловой крышки корпуса и соединен со схемой гибкими проводами, а потенциометр R_3 расположен на левой боковой стенке корпуса. Гетинаксовая плата закреплена в корпусе параллельно его передней стенке и на таком расстоянии от нее, чтобы передняя поверхность фоторезистора R_1, вставленного в гнезда контактной панели, находилась на уровне отверстия корпуса, предназначенного для фланца.

Для повышения стабильности работы фоторезисторов следует предварительно произвести их тренировку током, соответствующим 0,5—0,6 допустимой мощности в течение 400—500 ч

Градуировка шкалы микроамперметра производится с помощью термопар на нагретых изделиях того же материала, для которых прибор будет использоваться.

Устройства для измерения линейных размеров

Схема устройства, предназначенного для непрерывного измерения толщины слоя фотоэмульсии при изготовлении кинопленки, представлена на рис. 46.

Схема содержит два однотипных генератора, выполненных на триодах $Л_1$ и $Л_2$. В сеточный контур генератора на лампе $Л_1$ включен емкостный датчик C_1, а в контур генератора на лампе $Л_2$ — емкостный датчик C_2. Генераторы синхронизированы за счет связи между катушками индуктивностей L_5 и L_7, включенными встречно в общую измерительную цепь, содержащую диод $Д_1$ и микроамперметр.

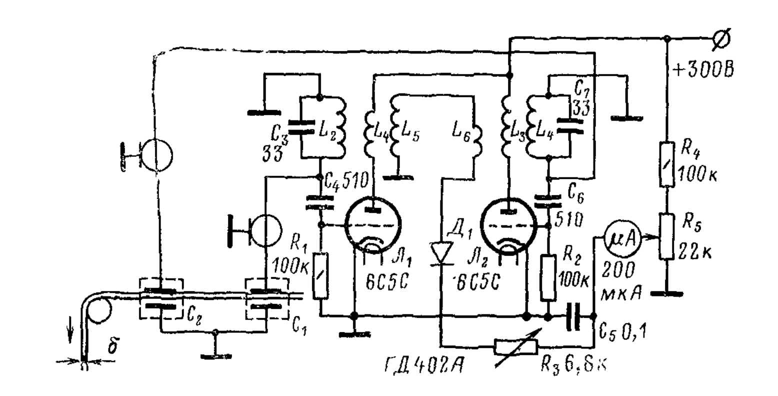


Рис. 46. Принципиальная схема устройства для измерения толщины слоя фотоэмульсии.

При прохождении между электродами датчиков участков ленты одной и той же толщины частота обоих генераторов одинакова и ток синхронизации в измерительной цепи весьма мал. При прохождении же между электродами датчика C_1 участка ленты с покрытием, а между электродами датчика C_2 без покрытия генераторы находятся в неодинаковых условиях и в измерительной цепи появляется ток. Последний тем больше, чем больше толщина покрытия. Таким образом, по отклонению стрелки микроамперметра, фиксирующего ток измерительной цепи, можно установить толщину покрытия. Для компенсации начального тока в измерительной цепи при отсутствии на ленте покрытия служит потенциометр R_5. Рабочая частота генераторов в рассматриваемой схеме обычно около 3—5 МГц. Для исключения влияния изменения толщины ленты вдоль ее длины на точность измерений необходимо датчики ставить возможно ближе друг к другу. Заземленный внешний электрод датчика целесообразно выполнять в виде трубы прямоугольного сечения, внутри которой на изоляторах укрепляется второй (внутренний) электрод. Внешний электрод в такой конструкции служит одновременно экраном датчика.

Данные катушек индуктивности: L_1, L_3 содержат по 40 витков провода марки ПЭЛ 0,3, намотанного на каркасе диаметром 30 мм; L_2, L_4 — 50 витков провода марки ПЭЛ 0,5, намотанного на каркасе диаметром 40 мм; L_5, L_6 — 20 витков провода марки ПЭЛ 0,3, намотанного соответственно на каркасах катушек L_1 и L_2.

Емкостный миниметр предназначен для измерения отклонения размеров плоских деталей от заданного номинального значения. Чувствительность миниметра достигает десятых долей микрона, точность — около 0,5 мкм, предел измерений — 25 мкм. Схема (рис. 47) содержит следующие узлы: измерительный мост с дифференциальным емкостным датчиком C_1, усилитель на пентоде $Л_1$, фазочувствительный мост на двойном триоде $Л_2$, микроамперметр и генератор на лампе $Л_3$.

Конструкция датчика миниметра показана на рис. 48. В латунном корпусе *1* укреплен цилиндр *2* из высококачественного тексто-

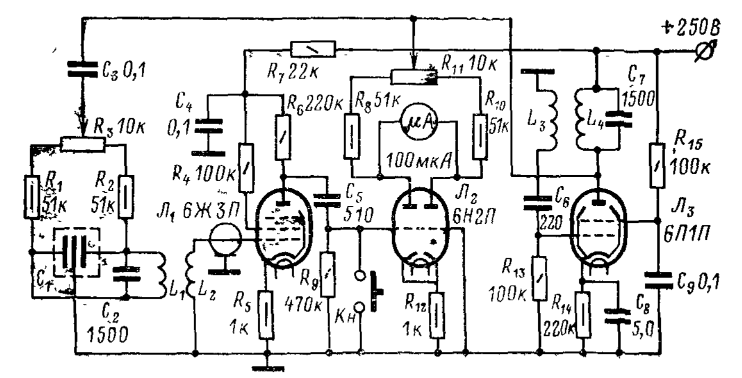


Рис. 47. Принципиальная схема емкостного миниметра.

лита. В цилиндре закреплены два одинаковых латунных кольца *3*, являющихся внешними электродами датчика. Внутренний электрод датчика *4* представляет собой металлическую чашу, насаженную на стальной шток *5*, который, свободно перемещаясь в корпусе, передвигает чашу относительно колец *3*. Для прижимания штока к поверхности контролируемой детали используется пружина, упирающаяся в дно чаши. Зазор между кольцами и чашей не превышает 0,15 мм. Корпус датчика при измерениях закрепляется неподвижно относительно плоскости, на которую помещается проверяемое изделие. Диапазон перемещений штока ±5 мм.

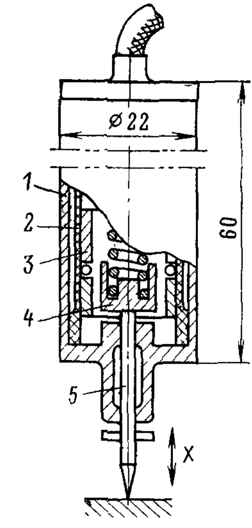


Рис. 48. Конструкция датчика емкостного миниметра.

При номинальном значении размера детали (обычно при этом подвижный электрод датчика смещен относительно своего среднего положения) потенциометром R_3 балансируется измерительный мост, что определяется по отсутствию отклонения стрелки микроамперметра (см. рис. 47). При увеличении или уменьшении номинального размера детали изменяется отношение емкостей дифференциального датчика C_1 и на выходе измерительного моста появляется сигнал, который через трансформатор L_1L_2 подается на вход усилителя $Л_1$. С выхода $Л_1$ сигнал поступает на сетку левого триода лампы $Л_2$ и через микроамперметр начинает протекать ток, значение которого зависит от измеряемого отклонения, а полярность — от его знака. Фаза сигнала, снимаемого с нагрузки лампы $Л_1$, определяет полярность тока микроамперметра, так как ламповый и измерительный мосты питаются от одного и того же генератора. Частота сигнала, вырабатываемого генератором, 400—500 кГц. Для первоначальной балансировки лампового моста в схеме предусмотрена кнопка *Кн*. Замкнув этой кнопкой сетку левого триода лампы $Л_2$ на корпус, потенциометром R_{11} устанавливают стрелку микроамперметра на нуль.

Данные катушек индуктивности: L_1, L_3 содержат по 60 витков провода марки ПЭЛ 0,7, намотанного на каркасе диаметром 25 мм; L_2 — 180 витков провода марки ПЭЛ 0,2, намотанного на каркасе катушки L_1; L_4 — 20 витков провода марки ПЭЛ 0,7, намотанного на каркасе катушки L_3.

Индуктивный толщиномер предназначен для измерения толщины металлической ленты. Датчик толщиномера состоит из двух обмоток: возбуждающей L_1, питаемой током высокой частоты, и расположенной внутри ее воспринимающей обмотки L_2. В схему толщиномера (рис. 49) кроме датчика входят: выпрямитель на

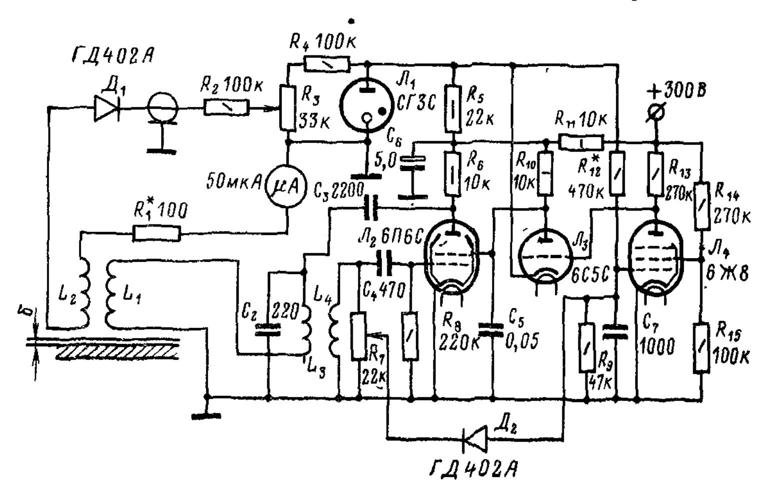


Рис. 49. Принципиальная схема индуктивного толщиномера.

диоде $Д_1$; источник стабилизированного напряжения на стабилитроне $Л_1$; генератор на пентоде $Л_2$, а также электронный регулятор на лампах $Л_3$, $Л_4$ и диоде $Д_2$, стабилизирующий ток обмотки L_1, и индикаторный прибор (микроамперметр).

Перед началом измерения датчик толщиномера устанавливают на поверхность металлической пластины и, перемещая движок потенциометра R_3, компенсируют выпрямленное диодом $Д_1$ напряжение.

При измерении датчик устанавливается на поверхности контролируемой ленты, лежащей на металлической пластине. За счет вихревых токов в пластине ослабляется магнитный поток, охватывающий обмотку L_2, и индуктируемая в ней э. д. с. уменьшается. Степень ее уменьшения зависит от толщины ленты. Измеряя напряжение на выходе воспринимающей обмотки, можно определить толщину проверяемой ленты.

Значение э. д. с., наводимой в воспринимающей обмотке L_2, зависит не только от толщины контролируемой ленты, но и от тока в обмотке L_1, поэтому для обеспечения высокой точности измерений необходимо поддерживать этот ток постоянным. Регулировку тока в обмотке L_1 можно осуществить за счет изменения напряжения на экранирующей сетке лампы генератора.

При увеличении этого тока возрастает выходное напряжение обмотки L_4, что влечет за собой увеличение тока, выпрямленного диодом $Д_2$, а следовательно, отрицательного смещения на управляющей сетке лампы $Л_4$. В результате этого напряжение на аноде лампы $Л_4$ увеличивается, а на аноде лампы $Л_3$ падает. Это приводит к понижению потенциала третьей сетки лампы генератора, а следовательно, уменьшению тока практически до его номинального значения. При уменьшении тока отрицательное смещение на управляющей сетке лампы $Л_4$ уменьшается, что влечет за собой возрастание потенциала на экранирующей сетке лампы $Л_2$ и ток должен возрасти до своего номинального значения.

Установка первоначального отрицательного смещения на сетке лампы $Л_4$ производится потенциометром R_3. Частота сигнала, вырабатываемого генератором, приблизительно равна 2 МГц. Для увеличения чувствительности толщиномера обмотка L_2 настраивается на частоту генератора. Для исключения влияния соединительных проводов на настройку обмотки L_2, а следовательно, на точность измерений диод $Д_1$ монтируется в одном корпусе с обмотками датчика.

Конструкция датчика показана на рис. 50. Каркас *1* воспринимающей обмотки *2* устанавливается внутри каркаса *4* возбуждающей обмотки *3* (каркасы выполняются из текстолита или какого-либо другого изоляционного материала). Каркас *4* крепится винтами к латунному корпусу датчику *5*. Датчик соединяется с измерительной схемой экранированным кабелем длиной 1—2 м.

Рис. 50. Конструкция датчика индуктивного толщиномера.

Данные катушек индуктивностей: L_1 содержит 10 витков провода марки ПЭЛ 1,0, намотанного на каркасе диаметром 10 мм; L_2 — 60 витков провода марки ПЭЛ 0,3, намотанного на каркасе диаметром 13 мм; L_3 — 40 витков провода марки ПЭЛ 1,0, намотанного на каркасе диаметром 12 мм; L_4 — 10 витков провода марки ПЭЛ 0,3, намотанного на каркасе катушки L_3.

Электронный микрометр служит для контроля диаметра проводов. Схема микрометра (рис. 51) содержит индуктивный высокочастотный датчик L_1, генератор, выполненный на левом триоде лампы $Л$, и мост, в который кроме указанного триода входят правый триод лампы $Л$ и резисторы R_1 и R_2.

Индуктивность датчика L_1 и емкость конденсатора C_1 составляют сеточный контур генератора, а индуктивность L_2 и конденсатор C_2 — его анодный контур. Связь контуров осуществляется через конденсатор C_3. При номинальном диаметре контролируемого провода реостатом R_6 на сетке правого триода устанавливается также отрицательное смещение, при котором ламповый мост уравновешивается и ток в микроамперметре отсутствует.

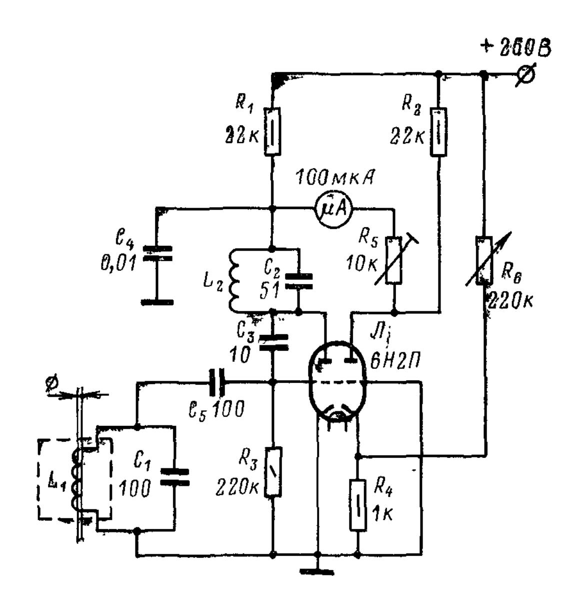


Рис. 51. Принципиальная схема электронного микрометра.

При увеличении диаметра контролируемого провода уменьшаются добротность и индуктивность обмотки датчика. Это приводит к уменьшению амплитуды колебаний генератора за счет расстройки его сеточного контура, что в свою очередь снижает отрицательное смещение на сетке левого триода, а следовательно, возрастает его анодный ток. В результате этого мост разбалансируется и возникает ток, обусловливающий отклонение стрелки микроамперметра вправо пропорционально увеличению контролируемого диаметра. При уменьшении диаметра указанного провода увеличиваются добротность и индуктивность обмотки датчика. Это приводит к возникновению тока и отклонению стрелки микроамперметра влево пропорционально уменьшению измеряемого диаметра.

Реостатом R_5 можно регулировать чувствительность схемы. Частота сигнала, вырабатываемого генератором, выбирается в пределах 10—15 МГц.

Точность измерений составляет 2—3% измеряемого диаметра.

Данные катушек индуктивности: L_1 содержит 20 витков провода марки ПЭЛ 0,1, намотанного на каркасе диаметром 12 мм; L_2 — 20 витков провода марки ПЭЛ 1,0, намотанного на каркасе диаметром 20 мм.

Действие устройства, предназначенного для измерения толщины фольги из цветных металлов, основано на вихревых токах, возникающих в контролируемой леточной фольге. Схема устройства (рис. 52) включает в себя измерительную часть, собранную на лампе $Л_1$, и генератор, выполненный на лампе $Л_2$. Между двумя

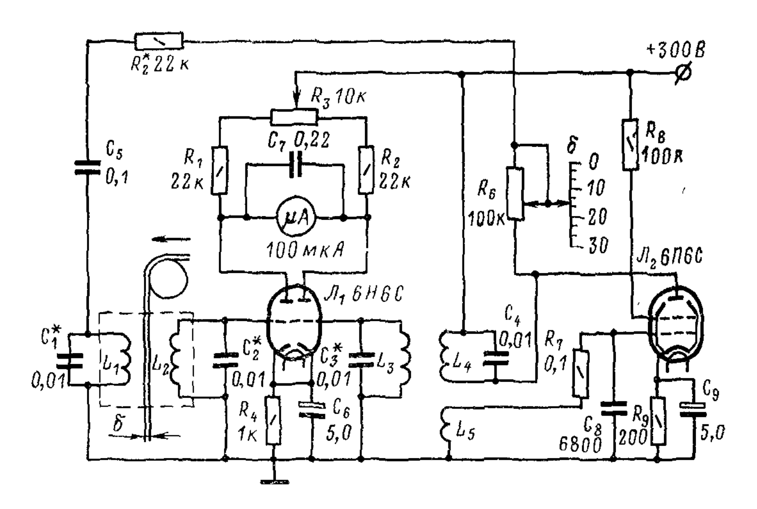


Рис. 52. Принципиальная схема устройства для измерения толщины фольги.

катушками индуктивности датчика L_1 и L_2 непрерывно движется контролируемая лента. Электродвижущая сила, наводимая в воспринимающей катушке датчика L_2, зависит от толщины фольги и тока задающей катушки L_1. При номинальной толщине фольги реостатом R_6 устанавливается такой ток обмотки L_1, чтобы напряжения на сетках левого и правого триодов лампы $Л_1$ были равны. В этом случае ток в микроамперметре отсутствует. При отклонении толщины фольги от номинального значения напряжение на сетке левого триода изменится, равновесие моста нарушится и стрелка микроамперметра отклонится на угол, пропорциональный изменению толщины контролируемой фольги. В связи с тем, что напряжение на сетке правого триода остается неизменным, каждой толщине фольги соответствует вполне определенное значение сопротивления R_6, при котором наступает равновесие моста. Поэтому толщина фольги может быть определена после соответствующей тарировки по положению движка реостата R_6.

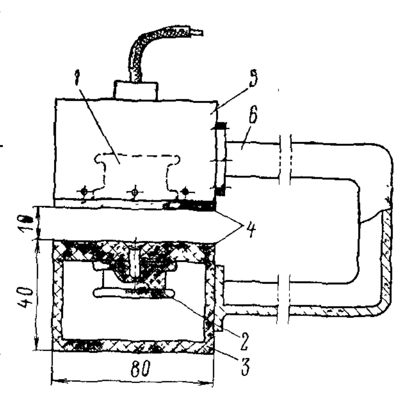


Рис. 53. Конструкция датчика для измерения толщины фольги.

Контуры L_2C_2 и L_3C_3 настраиваются в резонанс с частотой генератора, которая определяется параметрами контуров L_1C_1 и L_4C_4. Для алюминиевой фольги толщиной несколько микрон используется частота около 20 кГц.

Конструкция датчика измерителя толщины фольги показана на рис. 53. Задающая *1* и воспринимающая *2* обмотки датчика крепятся к гетинаксовым крышкам *3*, которые в свою очередь укрепляются в латунных экранах *4* и *5*. Последние скреплены жестким держателем *6*, обеспечивающим постоянство зазора между обмотками.

Практически достижимая чувствительность толщиномера составляет доли микрон, а точность для указанной ранее толщины алюминиевой фольги около 1—2 мкм.

Устройство может быть использовано также для измерения толщины лент из меди, свинца, латуни и других немагнитных металлов и сплавов. Для материалов с различной проводимостью необходимо производить соответствующую градуировку шкалы.

Данные катушек индуктивности: L_1, L_2, L_3, L_4 содержат по 600 витков провода марки ПЭЛ 0,3, намотанного на каркасах диаметром 25 мм и высотой 10 мм; L_5 — 200 витков провода марки ПЭЛ 0,2, намотанного на каркасе катушки L_4.

Высокочастотный дефектоскоп служит для обнаружения ничтожных по размерам примесей, находящихся как на поверхности, так и в теле контролируемой детали. В дефектоскопе используются высококачественные индуктивные датчики, перемещаемые по поверхности испытываемой детали.

Интенсивность вихревых токов, возникающих на контролируемом участке, зависит от электрической проводимости этого участка. Так как эквивалентная проводимость участка при наличии трещины меньше, чем проводимость других участков, то при нахождении датчика над трещиной увеличиваются добротность и индуктивность его обмотки. Фиксируя момент возрастания добротности или индуктивности обмотки датчика, можно установить местонахождение трещины.

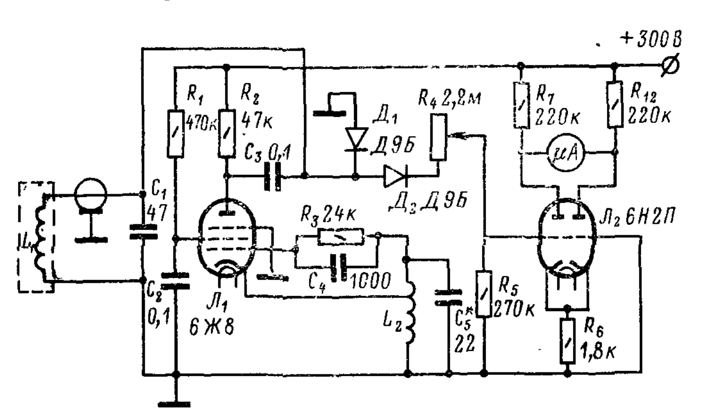


Рис. 54. Принципиальная схема высокочастотного дефектоскопа.

В схему (рис. 54) входят: высокочастотный индуктивный датчик L_1; генератор и усилитель, выполненные на лампе $Л_1$; детектор на диодах $Д_1$ и $Д_2$; мостовая схема на лампе $Л_2$ и микроамперметр.

Генератор собран по трехточечной автотрансформаторной схеме на генераторном триоде, анодом которого является экранирующая сетка лампы $Л_1$. Защитная сетка этой лампы является управляющим электродом усилителя, в анодную цепь которого включена нагрузка, представляющая собой параллельное соединение по высокой частоте (400 кГц) резистора R_2 и контура L_1C_1. С выхода усилителя сигнал подается на выпрямитель $Д_1$, $Д_2$. Выпрямленное напряжение поступает на делитель R_4. С резистора R_5 напряжение снимается на сетку левого триода мостовой схемы.

Для увеличения чувствительности прибора необходимо скомпенсировать напряжение, которое возникает на резисторе R_5 при установке датчика на участке детали без трещин. Компенсация указанного напряжения осуществляется за счет тока эмиссии правого триода лампы $Л_2$. Перемещая движок реостата R_4, легко подобрать такое его положение, при котором напряжение на резисторе R_5 полностью скомпенсируется, мостовая схема уравновесится. Таким образом при нахождении датчика на участках поверхности детали без дефектов стрелка миллиамперметра находится на нулевой отметке шкалы.

При нахождении датчика на участке детали с трещиной изменяется настройка контура L_1C_1, что влечет за собой изменение напряжения, снимаемого с нагрузки усилителя, а следовательно, напряжения на сетке левого триода лампы $Л_3$. Это приводит к разбалансировке мостовой схемы и отклонению стрелки миллиамперметра тем большему, чем значительнее нарушена на контролируемом участке целостность материала детали.

Рис. 55. Конструкция датчика высокочастотного дефектоскопа.

Конструкция датчика дефектоскопа показана на рис. 55. Обмотка датчика *1* наматывается на каркас из органического стекла *2*, укрепленный в эбонитовой оправе *3*. Последняя устанавливается в металлический кожух *4*. Выводы обмотки припаиваются к штырькам, укрепленным в каркасе *2*. Датчик соединяется со схемой коаксиальным кабелем.

Данные катушек индуктивности: L_1 содержит 500 витков провода марки ПЭЛ 0,1, намотанного на каркасе диаметром 8 мм; L_2 — 260+460 витков провода марки ПЭШО 0,25, намотанного на каркасе диаметром 20 мм.

Устройство для измерения влажности сыпучих материалов

Устройство дает возможность определить наличие 0,1 г воды в 10 г контролируемой массы. Устройство включает в себя генератор на лампе $Л_1$ и усилитель с электронным индикатором на лампе $Л_2$ (рис. 56). При заполнении сухим контролируемым ве-

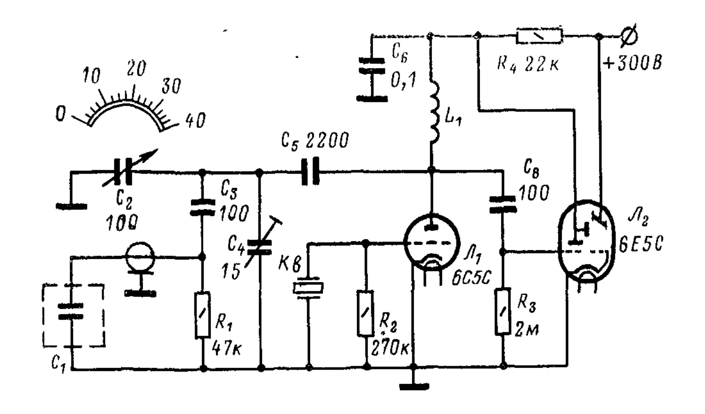


Рис. 56. Принципиальная схема устройства для измерения влажности сыпучих материалов.

ществом пространства между электродами емкостного датчика C_1 генерация возникнет, если при полностью введенной емкости конденсатора C_2 подобрать такую емкость конденсатора C_4, чтобы резонансный контур генератора, включающий указанные конденсаторы, а также конденсаторы C_3, C_5 и индуктивность L_1, был настроен на частоту кварца *Кв*.

Возникновение генерации приводит к резкому уменьшению анодного тока лампы $Л_1$ и $Л_2$. В связи с этим скачком уменьшается падение напряжения на резисторе R_4 и затемненный сектор индикатора лампы $Л_2$ почти полностью исчезает. При заполнении датчика влажным контролируемым материалом происходит расстройка анодного контура генератора за счет увеличения емкости конденсатора C_1 и генерация срывается. Для восстановления генерации емкость конденсатора C_2 необходимо уменьшить настолько, насколько увеличилась емкость датчика C_1.

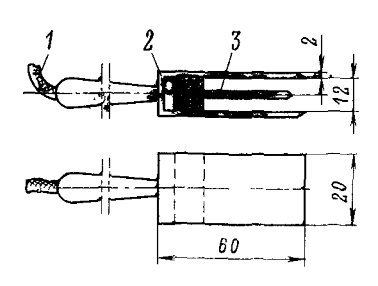


Рис. 57. Конструкция датчика устройства для измерения влажности сыпучих материалов.

При различной влажности контролируемого материала восстановление генерации будет происходить при различном изменении емкости C_2. Поэтому и поворот оси ротора конденсатора C_2 в зависимости от влажности материала будет различным. Это дает возможность, связав стрелку указателя с ротором конденсатора C_2, определять (после предварительной тарировки) влажность контролируемого материала по положению стрелки указателя.

Изолировать электроды датчика от контролируемого материала нецелесообразно, так как это существенно понижает чувствительность схемы из-за появления малой емкости, последователь-

но включенной с конденсатором C_1 и обусловливаемой изоляционным покрытием. Частота колебаний используемого в схеме генератора 3—4 МГц.

Точность рассматриваемой схемы определяется стабильностью балансной схемы усилителя и качеством применяемого датчика.

Датчик (рис. 57) состоит из двух изолированных друг от друга электродов — внутреннего *3*, имеющего ножевую форму, и внешнего *2*, охватывающего внутренний электрод с двух сторон. Датчик соединен с измерительной схемой коаксиальным кабелем *1*, например, типа РК-3 длиной 0,75—1 м. Экран кабеля припаивается к внешнему электроду датчика.

Катушка индуктивности L_1 содержит 30 витков провода марки ПЭЛ 1,0, намотанного на каркасе диаметром 20 мм.

Определитель трассы проводов в разветвленных жгутах

Схема устройства для определения трассы проводов в разветвленных связанных жгутах состоит из генератора синусоидальных колебаний частотой 800 Гц и приемного устройства с контуром, настроенным на эту же частоту (рис. 58). Выходная цепь генератора соединяется с одним концом отыскиваемого провода, который становится своеобразной антенной.

При приближении катушки L_1 к полю «антенны» в катушке индуктируется напряжение частотой 800 Гц, которое усиливается,

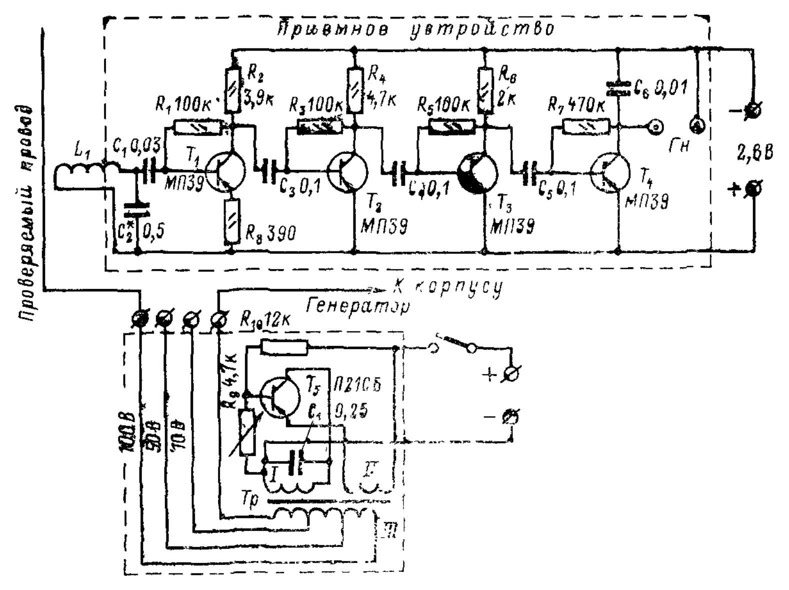


Рис. 58. Принципиальная схема определителя трассы проводов в разветвленных жгутах.

а затем прослушивается через головной телефон. По звуковому сигналу определяется искомый провод в ответвлении жгута.

Генератор выполнен на транзисторе T_1 по схеме с индуктивной обратной связью. Максимальное напряжение на выходной обмотке 100 В. При помощи отводов выходное напряжение может быть уменьшено ступенями до 50 и 10 В. Плавное изменение выходного напряжения осуществляется переменным резистором R_9. Генератор питается от батареи типа КБС-Л-0,50. При токе потребления около 70 мА срок службы батареи составляет 7—8 ч.

Приемное устройство представляет собой четырехкаскадный усилитель на транзисторах. Приемный контур, настроенный в резонанс с частотой генератора, подключен ко входу усилителя и представляет собой катушку индуктивности, содержащую 2000 витков провода марки ПЭЛ 0,1, намотанного на каркасе диаметром 6 мм и длиной 5 мм. К выходу усилителя через гнезда *Гн* подключается головной телефон (на схеме не показан).

Генератор выполнен в металлическом корпусе размером 75×40×65 мм. Сердечник генератора типа Ш10×10 выполнен из трансформаторной стали. Обмотка *I* содержит 150 витков провода марки ПЭЛ 0,35; обмотка *II* — 40 витков провода марки ПЭЛ 0,15; обмотка *III* — 70+280+400 витков провода марки ПЭЛ 0,1.

Генератор настраивают на нужную частоту путем подбора емкости конденсатора C_1. В небольших пределах частоту генератора можно изменять при помощи реостата R_9.

При работе с устройством нулевой зажим выходной обмотки трансформатора должен быть подключен к корпусу установки, шкафа или другого устройства, в котором расположены жгуты. Конец отыскиваемого провода, увязанного в жгут, соединяют с одним из зажимов выходной обмотки трансформатора *Тр*.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И КОНСТРУКЦИИ РЕЛЕЙНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Реле времени

Реле времени предназначены для автоматического включения или выключения каких-либо приборов или аппаратов через заданные интервалы времени.

Реле времени на тиратронах. Принцип построения такого реле времени показан на рис. 59, *а*. При размыкании кнопки $Кн_2$ начинается заряд накопительного конденсатора C через резистор R_1. При достижении напряжения на конденсаторе значения напряжения зажигания $U_з$ тиратрон *Л* зажигается и исполнительное реле *Р* срабатывает. При этом замыкается блокирующий контакт *1Р*, тиратрон гаснет, а реле *Р* остается самоблокированным. Для возвращения схемы в исходное состояние необходимо на некоторое время, достаточное для отпускания контактов реле, разомкнуть кнопку $Кн_1$ и замкнуть управляющий контакт $Кн_2$.

Выдержку времени можно подсчитать по следующему выражению:

$$T_в = R_1 C \ln \frac{1}{1 - U_з/U}.$$

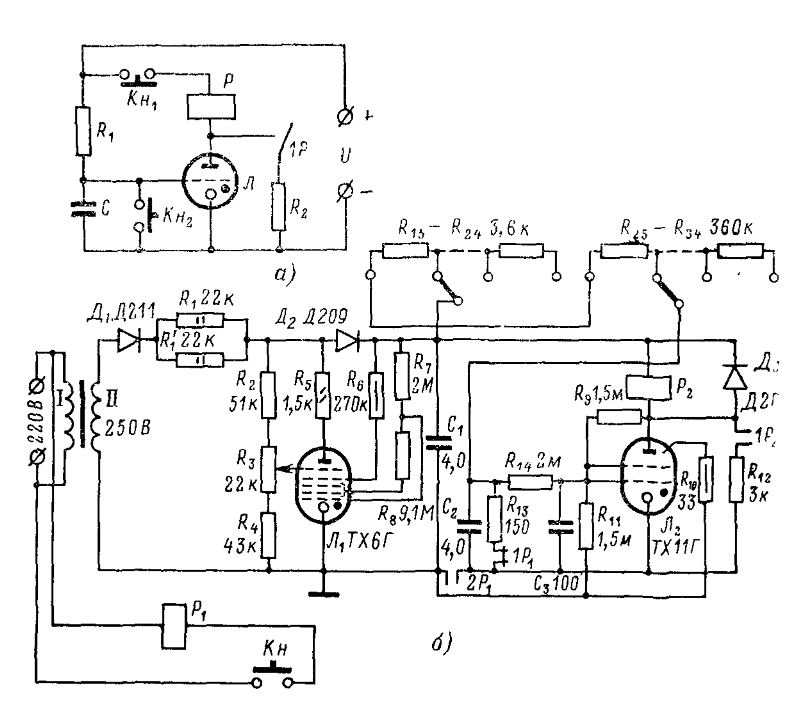


Рис. 59. Реле времени на тиратронах.

а — принцип действия; *б* — принципиальная схема устройства.

Подбором резистора R_1 и конденсатора C устанавливаются требуемые значения $T_в$, а изменением напряжения питания U при наладке схемы компенсируется влияние на время выдержки разброса параметров элементов схемы.

На рис. 59, *б* показана принципиальная схема реле времени, питаемая от регулируемого стабилизатора напряжения, выполненная на тиратроне ТХ6Г. Тиратрон ТХ11Г, используемый в схеме, имеет высокое входное сопротивление (10^{12} Ом), что особенно важно для построения схем с большой выдержкой времени. Для повышения стабильности напряжения зажигания тиратрона один из его свободных электродов (второй вывод на ножке лампы) использован для поддержания в тиратроне слаботочного вспомогательного разряда. Этот разряд протекает по цепи анод тиратрона—«свободный» электрод—резистор R_{10} (в обычном режиме тиратрон ТХ11Г работает без вспомогательного разряда).

Работа схемы реле времени происходит аналогично описанной выше. При замыкании управляющей кнопки *Кн* срабатывает реле P_1, которое размыкает контакт $1P_1$ и замыкает контакт $2P_1$. Конденсатор C_2 начинает заряжаться через резисторы R_{15}—R_{24} и R_{25}—R_{34}. Когда напряжение на конденсаторе достигает значения U, тиратрон ТХ11Г зажигается и реле P_2 срабатывает, замыкая кон

такт $1P_2$. При размыкании *Кн* схема возвращается в исходное состояние. Включая соответствующим образом свободные контакты реле P_1 и P_2 в цепь управляющей кнопки, можно осуществить различные режимы работы реле времени и, в частности, режим самовозврата в исходное состояние, спустя время $T_в$ после замыкания управляющего контакта. Цепочка R_{14}—C_3 включена для облегчения зажигания тиратрона. В качестве реле P_1 и P_2 использованы слаботочные реле переменного тока типа ПЭ-1 с рабочим напряжением 220 В (при работе на постоянном токе эти реле срабатывают от напряжения не более 70—80 В) или реле типа РПН с током срабатывания 2,5 мА.

Время выдержки (1—110 или 2—220 с) устанавливается с помощью двух декадных переключателей, состоящих из высокостабильных резисторов типа МГП (R_{15}—R_{24} и R_{25}—R_{34}). Для реле с выдержкой времени от 1 до 110 с значения резисторов R_{15}—R_{24} и R_{25}—R_{34} составляют соответственно 3,6 и 360 кОм при емкости накопительного конденсатора C_2, равной 4,0 мкФ. Для выдержки времени 2—220 с резисторы R_{15}—R_{24} выбираются равными 4,7 кОм, а резисторы R_{25}—R_{34} по 470 кОм при емкости конденсатора C_2, равной 6,0 мкФ.

Реле времени на неоновой лампе. Время выдержки такого реле 1—30 с. Принципиальная схема реле времени на неоновой лампе показана на рис. 60. В схеме может быть использовано любое

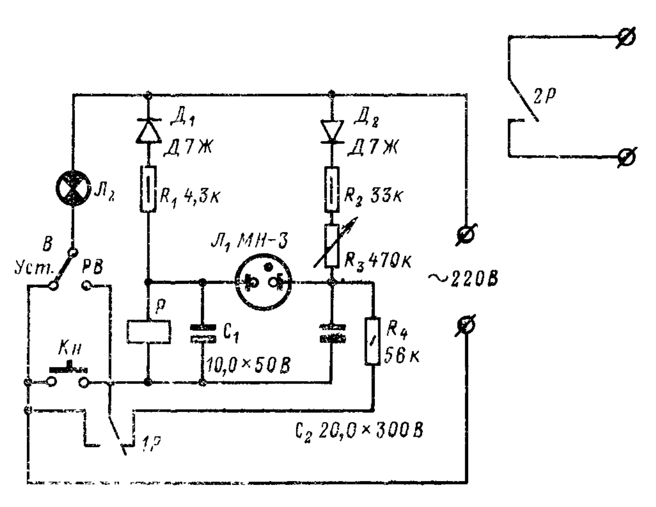


Рис. 60. Принципиальная схема реле времени на неоновой лампе.

электромагнитное реле с током срабатывания до 60 мА. При установке переключателя *В* в положение *Уст* (установка кадра) лампа фотоувеличителя $Л_2$ включена в сеть постоянно. Когда переключатель *В* установлен в положение *РВ* (реле времени), лампу увеличетеля $Л_2$ включают нажатием кнопки *Кн*. При этом реле *Р* срабатывает и его контакты *1Р* шунтируют кнопку. Одновременно начинается заряд конденсатора C_2 через резисторы R_2 и R_3, которы-

ми регулируется длительность выдержки. Когда напряжение на конденсаторе C_2 достигает потенциала зажигания, лампа $Л_1$ зажигается и через обмотку реле P и лампу проходит ток разряда конденсатора C_2. Так как этот ток направлен против первоначального тока, удерживавшего якорь реле, то реле времени вернется в исходное состояние, показанное на схеме. Конденсатор C_2 разрядится полностью через резистор R_4.

Резистор R_1 подбирают так, чтобы обеспечить надежное срабатывание реле. Ориентировочно его сопротивление равно:

$$R_1 = \frac{U_с}{2{,}2 I_{сраб}},$$

где $U_с$— напряжение сети; $I_{сраб}$— ток срабатывания реле.

Реле времени на транзисторах. Для обработки цветных фотоотпечатков необходимое время экспонирования составляет 0,5—150 с, а время обработки отпечатков в растворах 3—5 мин. Такую выдержку времени обеспечивает схема, показанная на рис. 61.

При нажатии кнопки *Кн* выпрямитель включается в сеть и конденсатор C_1 мгновенно заряжается. Импульс тока через конденсатор C_2 и резистор R_2 подается на обмотку реле P, которое срабатывает и контактами *2P* блокирует кнопку, а контактами *1P* включает релаксационный генератор R_{17}, C_4, $Л_3$. Отдельные вспышки неоновой лампы $Л_3$ свидетельствуют о нормальной работе реле времени. Конденсатор C_3 заряжается от стабилизатора напряжения $Л_2$ через резистор R_{15}. Изменяя сопротивление резисторов R_6 и R_7, можно изменять время выдержки от 0,5 до 150 с. Когда напряжение на конденсаторе C_3 достигнет потенциала зажигания неоновой лампы $Л_1$, лампа зажигается и на базу транзистора T_1 подается отрицательное смещение, открывающее транзистор. Реле, шунтированное малым сопротивлением транзистора, отключает выпрямитель и лампу увеличителя от сети. Конденсатор C_3 быстро разряжается через резистор R_5 и реле времени готово к следующему циклу.

В качестве транзистора T_1 можно использовать любой маломощный низкочастотный транзистор с возможно более высоким допустимым напряжением между коллектором и эмиттером. Сопротивления резисторов R_2 и R_3 подбирают в зависимости от типа примененного реле. При R_3=51 кОм ток срабатывания реле должен быть 2,5—3 мА.

Выбор рода работы реле производится при помощи переключателя B_1. В положении *I* переключатель включает лампу увеличителя в сеть для наводки увеличителя на резкость и выбора кадра; в положении *II* производится экспонирование отпечатков с автоматическим отсчетом времени в пределах 0,5—150 с; при положениях *III*, *IV* и *V* — обработка отпечатков в растворах с автоматическим отсчетом времени (выдержки составляют соответственно 3, 4 и 5 мин). Лампа увеличителя в этом случае включается в сеть через выключатель B_2. Об окончании выдержки сигнализирует лампа $Л_3$.

Питание прибора осуществляется от сети через бестрансформаторный однополупериодный выпрямитель $Д_1$—C_1. Резистор R_1 ограничивает величину импульса тока при включении выпрямителя в сеть. Чтобы исключить влияние колебаний сетевого напряжения на длительность выдержки, напряжение, подаваемое на зарядную цепь реле времени, стабилизировано газонаполненным стабилитроном $Л_2$.

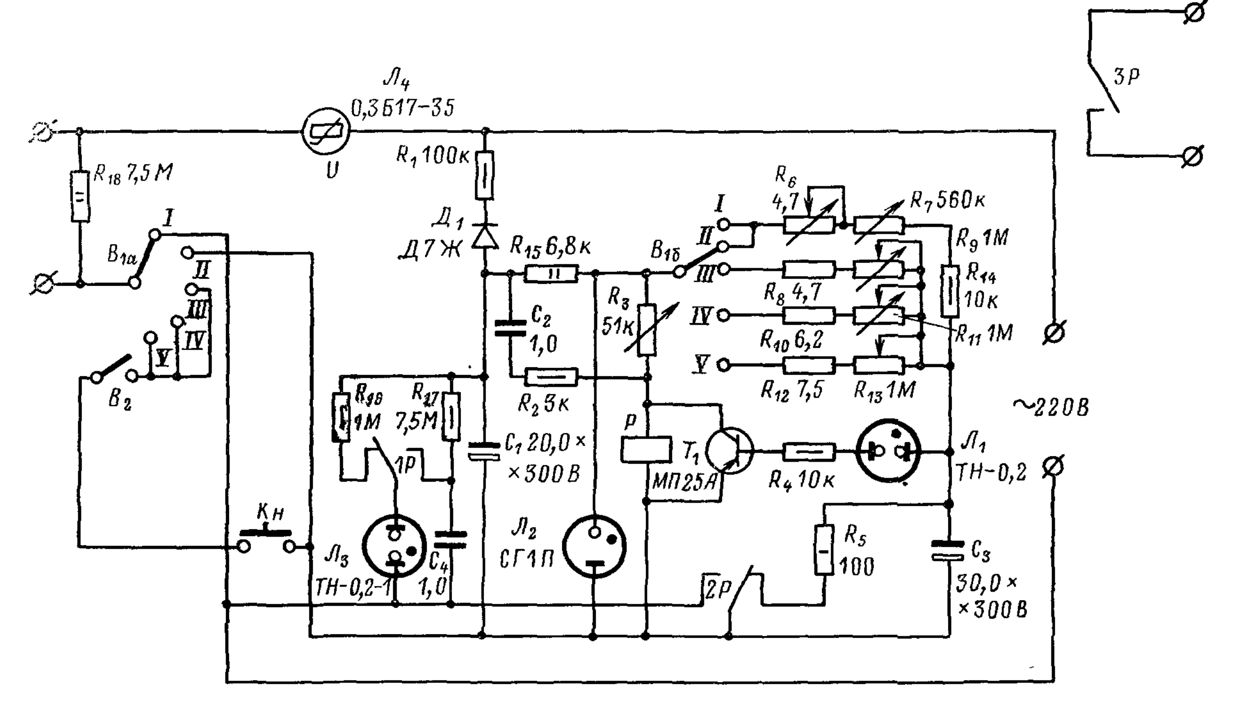


Рис. 61. Принципиальная схема реле времени на транзисторах.

Фотореле

Фотореле предназначены для включения или отключения каких-либо устройств контроля, регулирования или сигнализации при изменении освещенности. Наиболее распространены фотореле, в которых в качестве чувствительных элементов применяются фоторезисторы.

Фотореле для автоматического включения и выключения освещения. Реле (рис. 62) включает освещение при освещенности менее 5 лк и выключает при освещенности более 10 лк.

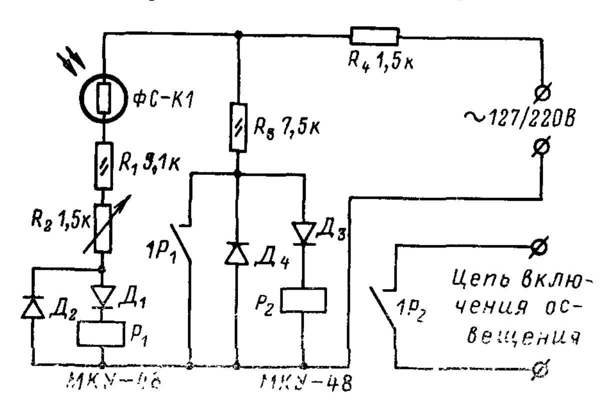


Рис. 62. Принципиальная схема фотореле.

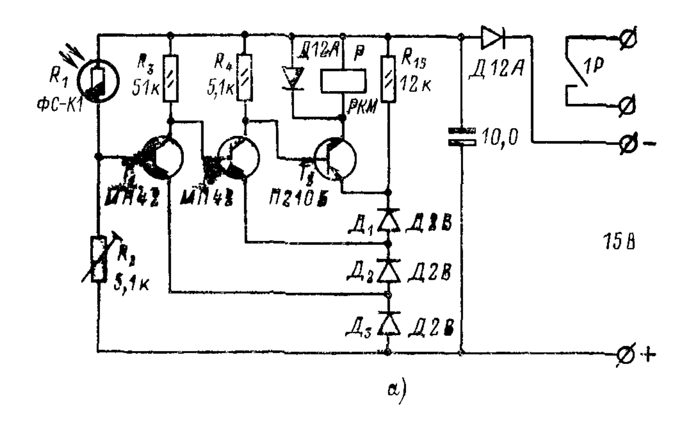
Сопротивления резисторов R_1 и R_3 и типы диодов $Д_1$—$Д_4$ определяются из условия допустимого тока выбранных реле P_1 и P_2. Резистор R_2 служит для изменения порога срабатывания реле. В схеме могут быть применены реле типа МКУ-48 ($I_{сраб}$=22 мА, $r_{обм}$=1900 Ом).

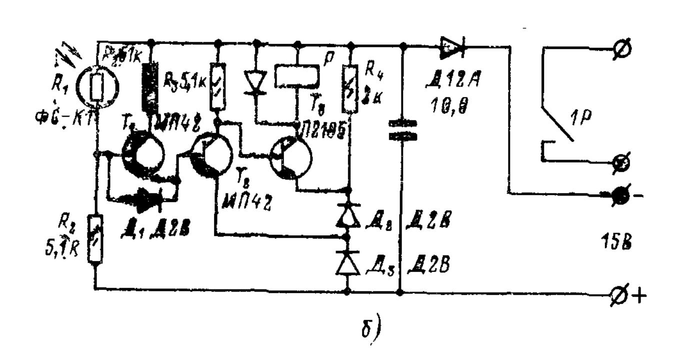
Фотореле на транзисторах. Схема, показанная на рис. 63, *а*, срабатывает при освещении фоторезистора R_1. Делитель, состоящий из резистора R_5 и диодов $Д_1$—$Д_3$, создает условия для режима полной отсечки. При освещении фоторезистора R_1 его омическое сопротивление уменьшается. Транзистор T_2 закрывается, а транзисторы T_1 и T_3 открываются. Одновременно с открыванием T_3 срабатывает реле *P*.

На рис. 63, *б* приведена схема фотореле, действующая при затемнении фоторезистора R_1.

Рассмотренные схемы обладают высокой чувствительностью и могут работать от обычных осветительных ламп с простейшими отражателями.

На рис. 63, *в* приведена схема транзисторного термостабилизированного фотореле. При затемненном фоторезисторе транзистор T_1 открыт за счет смещения, подаваемого на базу транзистора через резистор R_2. Остаточное напряжение на коллекторе T_1, равное нескольким десяткам милливольт и подаваемое на базу транзистора T_2, компенсируется запирающим потенциалом, который подается через резистор R_5 от дополнительного источника питания. Следова-





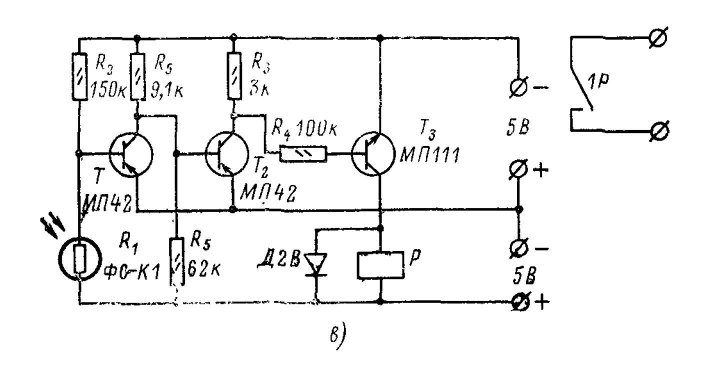


Рис. 63. Схемы фотореле на транзисторах.

а — срабатывающая при освещении фоторезистора; *б* — срабатывающая при затемнении фоторезистора; *в* — термостабилизированная.

тельно, потенциал базы транзистора T_2 приблизительно равен потенциалу общей шины и транзистор полностью закрыт. Вход транзистора T_3 включен на коллекторную нагрузку транзистора T_2 через резистор R_4.

При освещении фоторезистора его сопротивление падает, что приводит к появлению положительного потенциала на базе транзистора T_1. Транзистор закрывается, а потенциал на его коллекторе уменьшается. Это приводит к перераспределению потенциала на базе транзистора T_2 и открыванию выходных транзисторов T_2 и T_3.

В схеме может применяться реле P любого типа с рабочим током срабатывания не более 20 мА (например, РПН с $I_{сраб}=15$ мА и $r_{обм}=300$ Ом).

Резистор R_2 желательно сделать в виде двух резисторов (постоянного и переменного), что упрощает настройку реле. Настройка реле сводится к нахождению неглубокого насыщения транзистора T_1 посредством контролирования потенциала на его коллекторе при затемненном R_1.

Фотореле со звуковой сигнализацией. Такое фотореле (рис. 64) может быть использовано в тире, где мишени «поражают» лучом света, а также для сигнализации проникновения света в затемненное помещение. Питание схемы осуществляется от двух батарей типа КБС-Л-0,50.

Фоторезистор R_1, усилитель на транзисторах T_1 и T_2 и электромагнитное реле P образуют фотореле, а мультивибратор на транзисторах T_3 и T_4 и усилитель на транзисторе T_5 с громкоговорителем *Гр* — звуковой генератор.

При затемнении фоторезистора его сопротивление велико и транзистор T_2 закрыт. При освещении фоторезистора его сопротивление уменьшается, а ток через обмотку реле увеличивается. Реле P срабатывает, и контакты *1Р* размыкают цепь питания фоторезистора, а контакты *2Р* включают питание звукового генератора, и на выходе громкоговорителя появляется звуковой сигнал. Длительность звукового сигнала составляет доли секунды и зависит от емкости конденсатора C_1, который после отключения фоторезистора разряжается через обмотку реле. Как только контакты *2Р* разомкнут цепь питания звукового генератора, а контакты *1Р* подключат к транзистору T_1 фоторезистор, цикл повторится. В схеме можно использо-

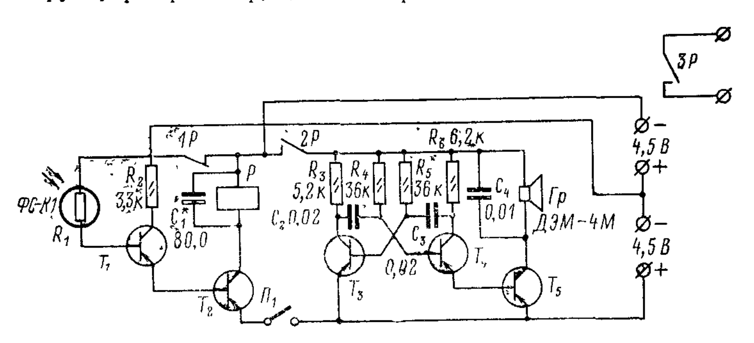


Рис. 64. Принципиальная схема фотореле со звуковой сигнализацией.

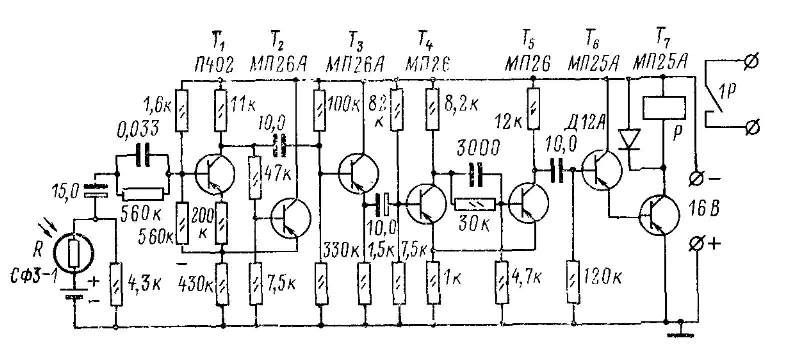


Рис. 65. Принципиальная схема широкодиапазонного фотореле.

вать маломощные низкочастотные транзисторы типа МП39 — МП42. Вместо фоторезистора ФС-К1 можно применить ФС-К2, ФС-Д0, ФС-Д1. Наибольшая чувствительность прибора получается при использовании фоторезистора ФС-Д1. В качестве реле *P* можно применить любое электромагнитное реле с $I_{\text{сраб}}=10\div12$ мА (например, типа РКН с $r_{\text{обм}}=400\div800$ Ом).

Широкодиапазонное фотореле высокой чувствительности. Схема, приведенная на рис. 65, имеет порог срабатывания 0,13—0,3 лк при длительности светового импульса несколько десятых миллисекунд. На входе схемы используется корректирующий каскад, выполненный на транзисторах T_1 и T_2, который позволяет в сто и даже тысячу раз повысить быстродействие устройств с фоторезисторами. Выходной сигнал снимается с коллектора транзистора T_1. На транзисторе T_3 собран разделительный каскад, обеспечивающий согласование выходного сопротивления корректирующего каскада и входного сопротивления триггера (транзисторы T_4 и T_5). Транзисторы T_6 и T_7 работают в ключевом режиме и предназначены для усиления мощности. В качестве реле *P* можно применить реле типа МКУ-48 ($I_{\text{сраб}}=130$ мА).

Термореле

Термореле предназначены для поддерживания температуры помещения или какого-либо устройства в заданном интервале. В качестве датчиков температуры в них применяют контактные термометры, терморезисторы и другие термочувствительные элементы.

Термореле с контактным термометром. При разомкнутых контактах ртутного термометра (рис. 66) транзистор T_1 открыт, напряжение на его коллекторе мало и на диод $Д_2$, включенный в цепь эмиттера транзистора T_2, через резистор R_6 подается отрицательное напряжение, значительно превышающее напряжение на коллекторе открытого транзистора T_1. Разность между напряжениями на диоде $Д_2$ и коллекторе транзистора T_1 закрывает тран-

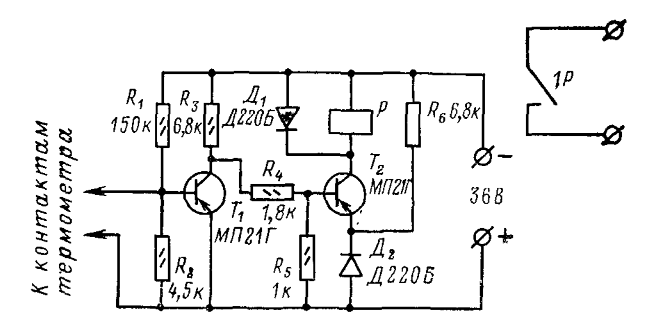


Рис. 66. Принципиальная схема термореле с контактным термометром.

зистор T_2. При замыкании контактов ртутного термометра транзистор T_1 закрывается и отрицательное напряжение на его коллекторе становится достаточным для отпирания транзистора T_2. В качестве реле *Р* можно применить реле типа МКУ-48 ($I_{сраб}=$ $=30\div40$ мА).

Реле уровня

Электроконтактные реле уровня. Действие этих реле основано на использовании электропроводности жидкостей и сыпучих материалов. При соприкосновении металлического электрода с жидкостью или сыпучим материалом сопротивление между электродом и металлической стенкой сосуда резко изменяется. Это приводит к изменению тока в цепи электрод—стенка сосуда, подключенной к источнику э. д. с.

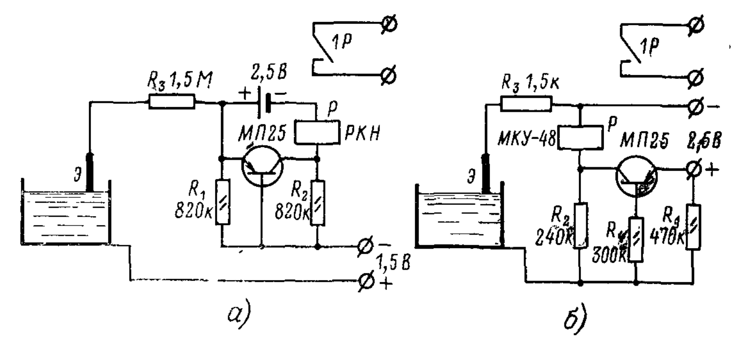


Рис. 67. Принципиальные схемы простых электроконтактных реле уровня.

Схемы простых электроконтактных реле показаны на рис. 67, *а* и *б*. В момент достижения электродом *Э* уровня жидкости ток в управляющей цепи база—эмиттер возрастает и коллекторный

ток транзистора оказывается достаточным для срабатывания реле P ($I_{сраб}$=28 мА). Контакты реле могут замыкать цепи сигнализации или привода исполнительного механизма, регулирующего уровень.

Схема триггерного реле уровня показана на рис. 68. Питание датчиков такого реле осуществляется от источника переменного тока. В схеме используется несимметричный триггер с эмиттерной

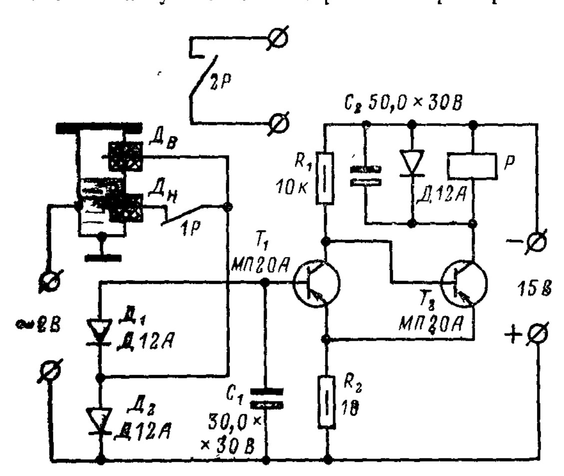


Рис. 68. Принципиальная схема триггерного реле уровня.

связью на транзисторах T_1 и T_2. Если уровень жидкости не достигает электродов датчиков $Д_в$ и $Д_н$ цепь переменного тока, составной частью которых является жидкость, разомкнута, транзистор T_2 открыт и его ток эмиттера создает падение напряжения на резисторе R_2, поддерживающее транзистор T_1 в закрытом состоянии (первое устойчивое состояние триггера). Реле P (типа РКМ с $I_{сраб}$=24 мА) срабатывает, и контакты $2P$ замыкают цепь электродвигателя насоса, подающего жидкость в резервуар. Контакты $1P$ разрывают цепь переменного тока датчика нижнего уровня $Д_н$.

В момент соприкосновения жидкости с электродом датчика верхнего уровня $Д_в$ цепь переменного тока замыкается. Выпрямленное диодами $Д_1$ и $Д_2$ напряжение подается на вход триггера. Он переходит во второе устойчивое состояние: транзистор T_1 открыт, а T_2 закрыт. Реле P, отпуская якорь, замыкает контакты $1P$ и размыкает контакты цепи управления $2P$. Электродвигатель насоса останавливается.

Схема реле уровня, основанного на изменении проводимости по переменному току, показана на рис. 69. Схема содержит усилитель постоянного тока на транзисторе T_2, работающем в ключевом режиме. Если уровень жидкости не достигает электродов $Э_1$ и $Э_2$, то выполняются условия самовозбуждения блокинг-генератора на транзисторе T_1. Ток коллектора T_1 создает падение напряжения на резисторе R_2 и повышает потенциал базы транзистора T_2. Эмиттер T_2 имеет в это время более низкий потенциал за счет делителя

R_3R_4. Поэтому транзистор T_2 оказывается закрытым, а реле P (типа РС-13 с $I_{сраб}=37$ мА) обесточено. При замыкании электродов $Э_1$ и $Э_2$ в момент соприкосновения с жидкостью генерация срывается, ток коллектора транзистора T_1 уменьшается и транзистор T_2 переходит в режим насыщения, а реле P срабатывает.

Датчик прибора потребляет малую мощность (25 мВт) при малом напряжении питания и может выноситься на большие рас-

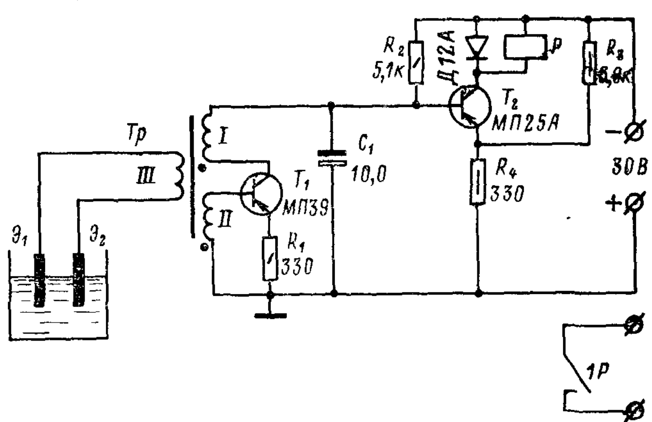


Рис. 69. Принципиальная схема реле уровня, основанного на изменении проводимости.

стояния (порядка 150 м). Изменением числа витков обмотки w_3 сигнализатор может быть настроен для работы с жидкостями, имеющими различную проводимость. При $w_1=w_2=w_3=120$ витков датчик срабатывает при сопротивлении жидкости между электродами 6 кОм и менее. Для изготовления трансформатора можно применить магнитопровод ОК 1000 (два кольца), $d_{нар}=21$ мм, $d_{внутр}=11$ мм и провод марки ПЭВ 0,1.

Фотоэлектрические реле уровня. Действие этих реле основано на изменении светового потока, падающего на фоточувствительный элемент (приемник), при изменении оптических свойств среды, находящейся между источником света и фоточувствительным элементом. На рис. 70 приведена схема простого фотоэлектрического реле

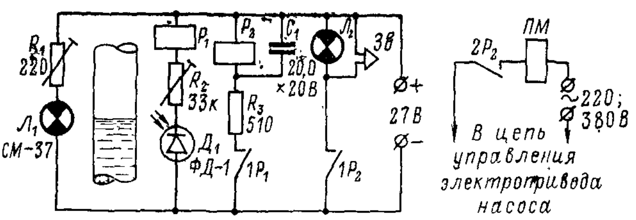


Рис. 70. Принципиальная схема фотоэлектрического реле уровня.

уровня, в котором используются фотодиод ФД-1 или фоторезистор ФС-А1-4 и миниатюрная лампа накаливания типа СМ-37. Схема настраивается таким образом, чтобы при расположении уровня контролируемой среды ниже пучка света, падающего на фотодиод, реле P_1 (типа РПН, $r_{обм}=5000$ Ом) было включено и контакты $1P_1$ в цепи обмотки промежуточного реле P_2 (типа МКУ-48 с $r_{обм}=1200$ Ом, $I_{с раб}=14$ мА) были разомкнуты. При подъеме уровня среды выше пучка света освещенность фотодиода уменьшается, реле P_1 выключается и контакты $1P_1$ включают реле P_2. Зажигается сигнальная лампа $Л_2$ и включается сирена *Зв*. Одновременно контакты $2P_2$ разрывают цепь питания обмотки магнитного пускателя *ПМ*, управляющего работой насоса.

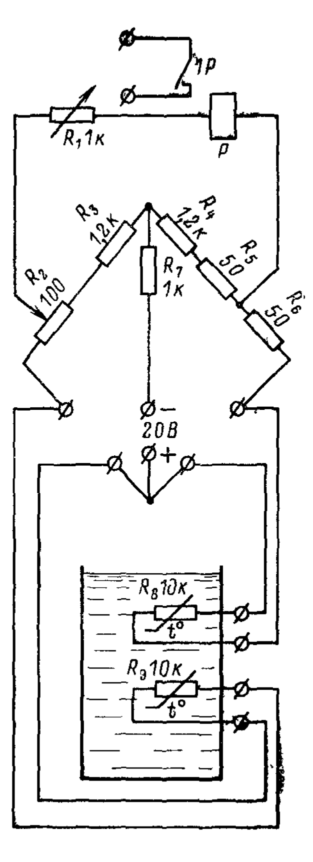


Рис. 71. Принципиальная схема теплового реле уровня.

Тепловые реле уровня. Различие коэффициентов теплопроводности различных сред позволяет построить тепловые реле уровня.

Схема реле (рис. 71) представляет собой неуравновешенный мост, в два плеча которого включены термочувствительные элементы R_8 и R_9. Каждый из них состоит из пяти последовательно включенных терморезисторов ММТ-4, КМТ-4 или КМТ-10 с сопротивлением каждого из них равным 2000 Ом при температуре 20° С. Помещенные в жидкость, уровень которой регулируется, терморезисторы нагреваются до температуры, несколько большей, чем температура жидкости. Когда R_8 и R_9 находятся в жидкости, мост сбалансирован и реле *Р* выключено. Как только уровень жидкости станет ниже терморезистора R_8, его температура возрастает, а сопротивление уменьшается. Мост разбалансируется, и реле *Р* срабатывает, включая сигнализацию и промежуточное реле привода насоса. Сопротивление резистора R_1 подбирается в зависимости от среды, уровень которой регулируется, и от типа выбранного реле *Р*. В качестве реле *Р* можно применить реле типа РЭС-15 с $r_{обм}=160$ Ом.

Емкостные реле уровня. В основу работы реле положено явление резкого увеличения емкости между трубками датчика при заполнении их жидкостью через продольную прорезь во внешней трубке. Эти реле используются для контроля уровня масла, дизельного топлива, бензина, керосина, скипидара и других жидкостей, находящихся в резервуарах открытого или закрытого типа при давлении до 20 кг/см². Допустимая погрешность срабатывания реле ±5 мм относительно оси датчика.

В качестве датчика уровня применяется цилиндрический конденсатор, обкладками которого служат две никелированные трубки, изолированные друг от друга гетинаксовой шайбой. Внешняя трубка датчика соединена с корпусом резервуара, а внутренняя — с электронным блоком при помощи коаксиального кабеля. Плечи моста емкостного реле уровня (рис. 72) состоят из датчика $C_{\text{дат}}$, соединенного последовательно с разделительным конденсатором C_5;

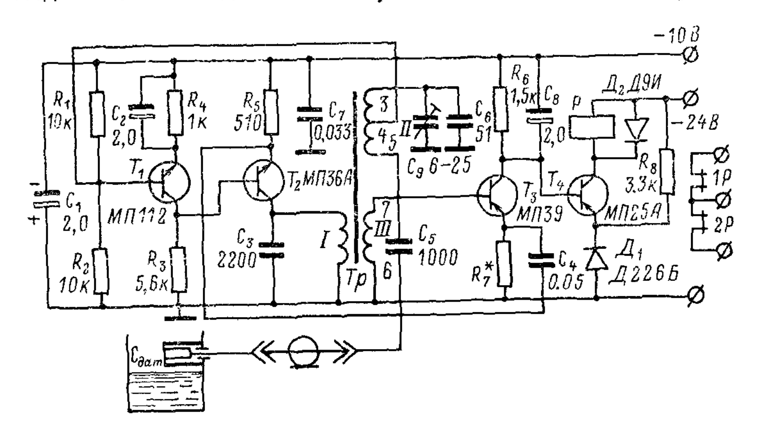


Рис. 72. Принципиальная схема емкостного реле уровня.

подстроечного конденсатора C_9, включенного параллельно конденсатору C_6, и участков *3—4* и *4—5* вторичной обмотки трансформатора *Тр*. Суммарная емкость C_6+C_9 выбирается средней между максимальной и минимальной емкостями датчика:

$$C_{\text{дат.мин}}<C_6+C_9<C_{\text{дат.макс}}.$$

Если уровень контролируемой жидкости ниже уровня установки датчика, то емкость между трубками минимальна

$$\frac{C_{\text{дат.мин}}C_5}{C_{\text{дат.мин}}+C_5}<C_6+C_9.$$

Начинает действовать положительная обратная связь и возникает генерация. Транзистор T_3 открыт, его коллектор имеет нулевой потенциал, транзистор T_4 закрыт, обмотка реле *Р* обесточена. Если уровень контролируемой среды достигает уровня установки датчиков, то емкость между трубками становится максимальной:

$$C_{\text{дат.макс}}=\frac{\varepsilon_2 C_{\text{дат.мин}}}{\varepsilon_1},$$

где ε_1 и ε_2 — диэлектрические проницаемости контролируемой жидкости и воздуха соответственно.

Тогда

$$\frac{C_{\text{дат.макс}} C_5}{C_{\text{дат.мак}}{}^{\text{с}} + C_5} > C_8 + C_9.$$

Поэтому возникает отрицательная обратная связь и происходит срыв генерации. Транзистор T_3 закрывается, напряжение на его коллекторе достигает отрицательного потенциала 10 В, а транзистор T_4 открывается. Реле *Р* (типа РЭС с $r_{обм}$=630 Ом, $I_{сраб}$=22 мА) срабатывает, сигнализируя о превышении уровня по сравнению с номинальным.

Трансформатор *Тр* выполнен на ферритовом кольце НУ-2000 14×6×6. Обмотка *I* содержит 50 витков, обмотка *II* — 80+80 витков и обмотка *III* — 25 витков провода марки ПЭЛШО 0,83.

Диаметр внешней трубки цилиндрического конденсатора датчика уровня 26 мм, диаметр внутренней трубки 16 мм, длина трубок 120 мм, толщина 1 мм. Минимальная емкость датчика в воздухе 45 пФ.

Реле давления

Реле давления (рис. 73) предназначено для контроля и регулирования давления жидкости и газа в интервале (19÷588)10^3 Па при температуре окружающей среды до 150° С. Схема реле состоит

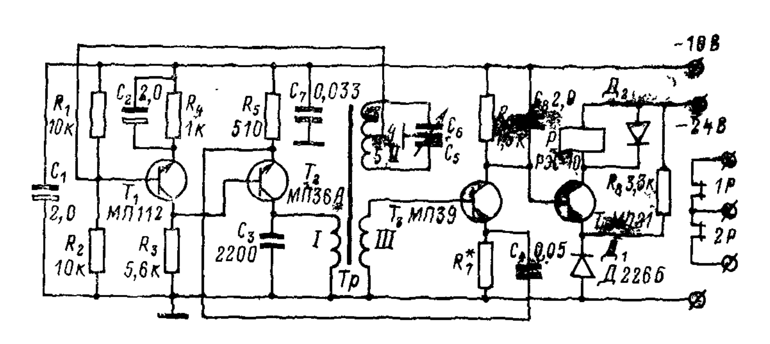


Рис. 73. Принципиальная схема реле давления.

из дифференциального конденсатора C_5—C_6, подвижные пластины которого соединены с гофрированной мембраной, воспринимающей измеряемое давление; двухкаскадного усилителя на транзисторах T_1 и T_2; транзисторного ключа T_3 и усилителя мощности на транзисторе T_4. В коллекторную цепь T_4 включена обмотка реле *Р* (типа РЭС-10, с $r_{обм}$=630 Ом и $I_{сраб}$=22 мА). Дифференциальный конденсатор C_5—C_6 совместно с участками *3—4* и *4—5* обмотки *II* трансформатора *Тр* образуют мостовую схему. К одной диагонали моста приложено выходное напряжение усилителя, в дру-

гую диагональ включен резистор R_2, с которого напряжение положительной обратной связи подается на вход транзистора T_1.

При нормальном давлении емкости конденсаторов C_5 и C_6 равны между собой и напряжение положительной обратной связи на входе усилителя равно нулю. С увеличением давления емкость конденсатора C_6 увеличивается, на вход усилителя поступает напряжение положительной обратной связи и усилитель входит в автоколебательный режим. Транзистор T_3, на базу которого начинает поступать напряжение с обмотки *III* трансформатора *Тр*, входит в режим насыщения, закрывая транзистор T_4 и обесточивая обмотку реле *Р*. При уменьшении давления увеличивается емкость конденсатора C_5. Возникает отрицательная обратная связь, происходит срыв генерации, закрывается транзистор T_3, а транзистор T_4 открывается, включая реле *Р*. Резистор R_7 изменяет глубину отрицательной обратной связи и подбирается по требуемой величине давления, при котором должно срабатывать реле.

Трансформатор *Тр* выполнен на ферритовом кольце 2000 НН 14×6×6. Обмотка *I* содержит 50 витков, обмотка *II* — 80+ +80 витков и обмотка *III* — 25 витков провода марки ПЭЛШО 0,08.

Конструктивно датчик реле давления (рис. 74) представляет собой упругую систему, состоящую из гофрированной мембраны *1*, подвижной системы пластин *2* и спиральной пружины сжатия *3*. Вещество, давление которого контролируется, поступает в мембранную камеру *4*, мембрана *1* прогибается, что вызывает перемещение системы пластин *2* относительно неподвижных боковых пластин *5* и *6*, впрессованных в гетинаксовую шайбу *7*. Емкость конденсатора C_5 между пластинами *5* и *2* и емкость конденсатора C_6 между пластинами *6* и *2* изменяются при изменении давления. Максимальная емкость конденсатора C_5 и C_6 определяется толщиной слюдяных прокладок *8* и *9*, минимальная — расстоянием между пластинами *2* подвижной системы. Контргайка *10* служит для фиксации этого расстояния. С контролируемой средой датчик связан с помощью медной трубки (диаметром 6 мм и длиной не более 2 м), поэтому прибор может контролировать давление только тех веществ, которые не вступают во взаимодействие с медью. Порог срабатывания (заданное давление) можно регулировать, изменяя силу сжатия пружины. В качестве реле *Р* можно использовать реле типа РЭС-10 с $r_{обм}$= =630 Ом, $I_{сраб}$=22 мА. С оконечным каскадом и блоком питания реле соединяется с помощью трехконтактного разъема и трехжильного кабеля.

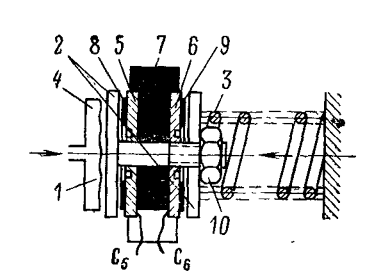


Рис. 74. Конструкция датчика реле давления.

Внешний диаметр пластин дифференциального конденсатора равен 25 мм, толщина слюдяной прокладки — 0,1 мм. Максимальное расстояние между пластинами *2—5* или *2—6* регулируется от 0,9 до 1,1 мм. Расстояние между неподвижными пластинами *5* и *6* составляет 5 мм.

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Краткие сведения об алгебре логики

Основу создания дискретных логических устройств составляют три основных правила алгебры — сложение, вычитание и умножение, но, в отличие от обычной алгебры, эти операции производятся не с величинами, а с высказываниями. Поэтому алгебра, применяемая при создании логических устройств, называется алгеброй высказываний или алгеброй логики. Основные положения алгебры логики сводятся к следующему:

1. Высказывания должны быть точно истинными либо точно ложными. Каждое высказывание обозначается каким-либо символом, например: в транзисторе нет нити накала — A;

арбузы не растут на дереве — B.

2. Операция сложения (дизъюнкция) соответствует соединению двух высказываний союзом ИЛИ. Например:

\+ сегодня я пойду в радиоклуб — A;
сегодня я пойду в кино — B;

сумма: сегодня я пойду в радиоклуб или в кино — $A+B$.

3. Логическим произведением называется объединение двух высказываний союзом И. Например:

× «5 меньше 8» — A;
«5 меньше 6» — B;

Произведение: «5 меньше 8 И меньше 6» — AB.

4. Логическим отрицанием (инверсией) называется операция присоединения к какому-нибудь высказыванию частицы «НЕ» (соответствует слову «НЕВЕРНО»). Полученное отрицательное высказывание обозначается той же буквой, что и утвердительное, но с черточкой наверху. Пример:

он будет радистом — A;

он не будет радистом — $\bar{A}$.

5. Используя перечисленные выше операции, можно составлять формулы сложных высказываний.

Пример. Я поеду в автобусе или в трамвае и по дороге буду слушать по транзисторному приемнику передачу со стадиона.

Разбиваем это сложное высказывание на простые:

я поеду в автобусе — A;

я поеду в трамвае — B;

буду слушать передачу со стадиона по транзисторному приемнику — C.

Чтобы получить формулу исходного сложного высказывания, нужно сложить высказывания A и B, так как возможно ИЛИ A, ИЛИ B и умножить эту сумму на высказывание C. Таким образом, формула сложного высказывания имеет вид:

$$X=(A+B)C.$$

При известных обозначениях формула

$$X=(A+B)\overline{C}$$

соответствует следующему высказыванию: я поеду в автобусе или в трамвае и НЕ буду слушать по транзисторному приемнику передачу со стадиона.

Полное отрицание всего сложного высказывания обозначается общей чертой над всей правой частью формулы сложного высказывания. Так, высказывание, записанное в виде $X=\overline{(A+B)C}$ означает: «Неверно, что я поеду в автобусе или трамвае и по дороге буду слушать по транзисторному приемнику передачу со стадиона».

6. Преобразование формул высказывания производится при помощи следующих правил:

а) от перемены порядка высказываний истинность их логической суммы не меняется:

$$A+B=B+A;$$

б) свойства логического сложения и умножения:

$$A+A+A+\ldots\ldots\ldots+A=A,$$

$$A\quad A\quad A\quad\ldots\ldots\ldots\times A=A,$$

$$A\overline{A}=0;$$

в) как и в обычной алгебре, логическое умножение обладает распределительным свойством относительно логического сложения:

$$A(B+C)=AB+AC;$$

г) отрицание произведения высказываний равно сумме отрицаний высказываний, и наоборот:

$$\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}; \qquad (9)$$

$$\overline{A+B}=\overline{A}\overline{B}; \qquad (10)$$

д) отрицание отрицательного высказывания дает утвердительное высказывание:

$$\overline{\overline{A}}=A; \qquad (11)$$

е) в алгебре логики есть правила, отличающиеся от правил обычной алгебры, например:

$$A+BC=(A+B)(A+C).$$

Чтобы убедиться в справедливости данного равенства, возьмем инверсию от его левой части, тогда в соответствии с формулами (9) и (10) получим:

$$\overline{A+BC}=\overline{A}(\overline{B}+\overline{C})=\overline{A}\overline{B}+\overline{A}\overline{C}.$$

Произведем повторное инвертирование (отрицание):

$$\overline{\overline{A+BC}}=\overline{\overline{A}\overline{B}+\overline{A}\overline{C}},$$

тогда по формуле (11) получим:

$$A+BC=(A+B)(A+C),$$

что и требовалось доказать.

7. Чтобы оперировать с формулами логики, необходимо знать истинность каждого простого высказывания. Истинное простое высказывание приравнивается к единице (1), ложное — нулю (0).

Пример: на кенотроне есть нить накала — A. Данное высказывание истинное, поэтому можно написать: $A=1$. Другой пример: $5\times\times5=36=B$. Последнее высказывание ложное, следовательно, $B=0$.

Истинность и ложность сложных высказываний определяют исходя из истинности составляющих его простых высказываний при помощи таблиц истины, используя следующие правила:

$$\left.\begin{array}{ll} 1+1=1, & 0\cdot0=0, \\ 1+0=1, & 0+0=0, \\ 1\cdot1=1 & \overline{1}=0, \\ 1\cdot0=0, & \overline{0}=1. \end{array}\right\} \qquad (12)$$

Пример. Определить, при каких условиях высказывание, формула которого имеет вид $X=A+\overline{B}$, истинно и при каких ложно.

Составим таблицу истинности, воспользовавшись правилами (12):

A	B	$\overline{B}$	$X=A+\overline{B}$
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	0	0
0	0	1	1

Из таблицы видно, что данное сложное высказывание истинное (т. е. $X=1$) при всех значениях A и B, кроме случая, когда A — ложное высказывание, а B — истинное высказывание.

Для решения логических задач необходимо: 1) записать формулы высказываний; 2) составить уравнения, соответствующие истине (т. е. приравнять их 1); 3) перемножить полученные уравнения; 4) решить их, пользуясь правилами алгебры логики.

Задача. Не светится экран телевизора. Его осмотрели радиолюбители Борис, Дмитрий и Сергей. Каждый из них сделал по два вывода:

Борис. Нет высокого напряжения на кинескопе. Неисправна лампа генератора строчной развертки.

Дмитрий Высокое напряжение на кинескопе есть. Неисправен кинескоп.

Сергей. Нет высокого напряжения на кинескопе. Высоковольтный кенотрон неисправен.

Известно, что один из них опытный радиолюбитель и оба его вывода верны, второй — начинающий радиолюбитель и оба его вывода ошибочны, третий радиолюбитель средней квалификации и один из его выводов правильный, другой — ошибочный.

Нужно определить, как зовут каждого из радиолюбителей и кто из них правильно определил причину неисправности телевизора.

Обозначим интересующие нас сведения следующими символами: высокое напряжение на кинескопе есть — B, высоковольтный кенотрон исправен — A, кинескоп исправен — K, лампа генератора строчной развертки исправна — $Г$; O — опытный радиолюбитель; H — начинающий радиолюбитель; P — радиолюбитель средней квалификации.

Индексами обозначим их имена: $Б$, $Д$, $С$. Например, $P_Б$ — радиолюбитель средней квалификации Борис, $O_Д$ — опытный радиолюбитель Дмитрий.

Составим формулы высказываний:

Борис: $\bar{B}\bar{Г}$;

Дмитрий: $B\bar{K}$;

Сергей: $\bar{A}\bar{B}$.

Каждый из них может быть опытным, средним и начинающим радиолюбителем. Допустим, что Борис — опытный радиолюбитель: $O_Б=1$.

Поскольку известно, что оба вывода опытного радиолюбителя верны: $\bar{B}=1$, $\bar{Г}=1$, следовательно, можно записать $O_Б\bar{B}\bar{Г}=1$.

Если допустить, что Дмитрий — опытный радиолюбитель, то должно быть справедливо равенство $O_ДB\bar{K}=1$, а если Сергей — опытный радиолюбитель, то $O_С\bar{A}\bar{B}=1$.

Истинным является ИЛИ первое, ИЛИ второе, ИЛИ третье предположение. Следовательно,

$$O_Б\bar{B}\bar{Г}+O_ДB\bar{K}+O_С\bar{A}\bar{B}=1. \qquad (а)$$

Каждый из радиолюбителей может иметь среднюю квалификацию. Предположим, что радиолюбитель средней квалификации Борис ($P_Б$), тогда его правильное высказывание будет:

$$\bar{B}Г=1 \text{ или } B\bar{Г}=1.$$

Формула данного предположения:

$$P_Б(B\bar{Г}+\bar{B}Г)=1.$$

Аналогично формулы предположений, что радиолюбителем средней квалификации является Дмитрий или Сергей, будут иметь вид:

$$P_Д(\bar{B}\bar{K}+BK)=1;$$

$$P_С(\bar{A}B+A\bar{B})=1.$$

Так как одно из этих предположений должно быть обязательно истинным, то

$$P_Б(B\bar{Г}+\bar{B}Г)+P_Д(\bar{B}\bar{K}+BK)+P_С(\bar{A}B+A\bar{B})=1. \qquad (б)$$

Мы получили уравнения (а) и (б), которые являются истинными, следовательно, и их произведение должно быть истинным, т. е. должно быть равно 1.

Умножив первый член уравнения (б) на левую часть уравнения (а), получим:

$$P_Б(В\overline{Г}+\overline{В}Г)(О_Б\overline{В}\overline{Г}+О_ДВ\overline{К}+О_С\overline{А}\overline{В})=$$

$$=P_БВ\overline{Г}О_Б\overline{В}\overline{Г}+P_БВ\overline{Г}О_ДВ\overline{К}+P_БВ\overline{Г}О_С\overline{А}\overline{В}+$$

$$+P_Б\overline{В}ГО_Б\overline{В}\overline{Г}+P_Б\overline{В}ГО_ДВ\overline{К}+P_Б\overline{В}ГО_С\overline{А}\overline{В}.$$

Первый, третий, четвертый и пятый слагаемые этого уравнения равны нулю согласно правилам логического умножения $В\overline{В}=0$; $Г\overline{Г}=0$. Второе слагаемое также равно нулю, так как $В\overline{Г}=0$ (не может быть высокого напряжения, если неисправна лампа генератора строчной развертки). Поэтому остается лишь шестой член $P_Б\ \overline{В}ГО_С\overline{А}\overline{В}$.

Умножая второй и третий члены уравнения (б) на левую часть уравнения (а) и производя аналогичные преобразования, нетрудно убедиться в том, что эти произведения равны нулю. Следовательно, окончательный результат перемножения уравнений (а) и (б) запишется в виде

$$P_Б\overline{В}ГО_С\overline{А}\overline{В}=1.$$

Получено единственное истинное выражение. Расшифровка его дает ответ: «Борис — радиолюбитель средней квалификации. Сергей — опытный радиолюбитель. Нет высокого напряжения на кинескопе. Лампа генератора строчной развертки исправна. Неисправен высоковольтный кенотрон».

Проверив полученный ответ по условиям задачи, нетрудно убедиться в правильности решения.

Логические элементы на электромагнитных реле

На основе изложенных выше правил алгебры логики работают различные логические автоматы дискретного действия. Основные логические операции И, ИЛИ, НЕ могут быть выполнены с помощью схем на электромагнитных реле и транзисторах.

Входные сигналы X релейных схем включают питание на обмотки реле ($X=1$) или выключают его ($X=0$). Выходной сигнал Y снимается с контактов реле, которые замыкают цепи сигнализации (например, включают индикаторную лампу или звонок) или включают привод (например, двигатель исполнительного устройства).

Операция логического умножения И реализуется при помощи последовательного включения нормально разомкнутых контактов двух реле (рис. 75, *а*).

При поступлении только одного входного сигнала ($X_1=1$, $X_2=0$ или $X_1=0$, $X_2=1$) выходной сигнал отсутствует ($Y=0$). В случае, когда подано питание на оба реле ($X_1=1$ И $X_2=1$), их контакты подключают выход схемы — цепь управления (Y) к источнику питания. Появляется сигнал на выходе ($Y=1$).

Операция логического сложения ИЛИ реализуется при помощи параллельного включения нормально разомкнутых контактов реле

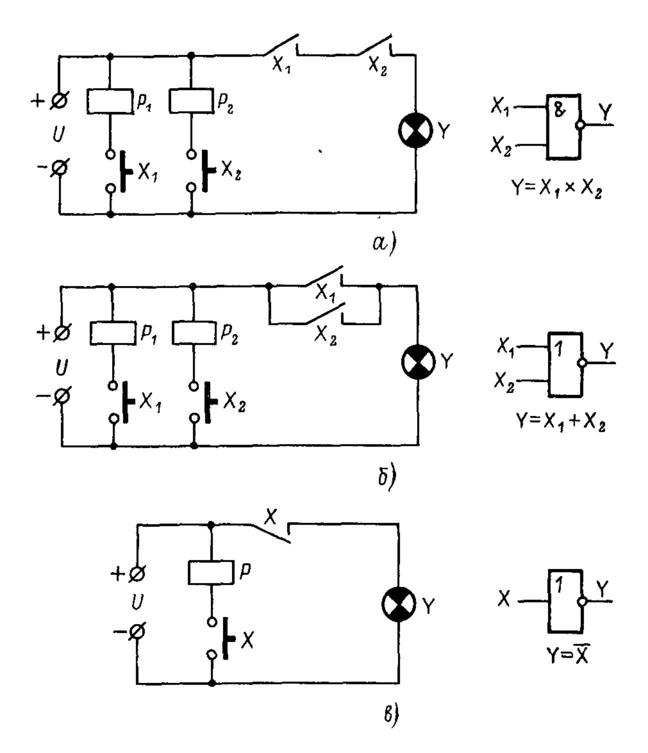


Рис. 75. Схемы логических устройств и их условные обозначения.
а — умножения; *б* — сложения; *в* — отрицания.

(рис. 75, *б*). Чтобы появился сигнал $Y=1$ на выходе схемы, достаточно одного входного сигнала ($X_1=1$ ИЛИ $X_2=1$), так как контакты реле включены параллельно друг другу.

Операция отрицания НЕ реализуется одним нормально замкнутым контактом реле в цепи управления (рис. 75, *в*). Сигнал на выходе инвертора получается при отсутствии сигнала на входе, т. е. $Y=1$, когда $X=0$.

Логические элементы на транзисторах

Транзисторная схема И. В схеме параллельного типа (рис. 76, *а*) транзисторы T_1, T_2, T_3 в исходном состоянии открыты (находятся в насыщении) и на обмотке реле *Р* (типа РЭС-10 с $r_{обм}=120$ Ом) напряжение близко к нулю. Если подать положительные сигналы ($U_{вх} \geqslant 1$ В) одновременно на все три входа, транзисторы закрываются и через реле потечет ток, достаточный для его срабатывания.

В схеме последовательного типа (рис. 76, *б*) оба транзистора закрыты и реле *Р* (типа РС-13 с $r_{обм}$=250 Ом) обесточено. Одновременная подача отпирающих отрицательных импульсов на оба входа переводит транзисторы в режим насыщения, потенциал на выходе становится равным нулю, реле срабатывает.

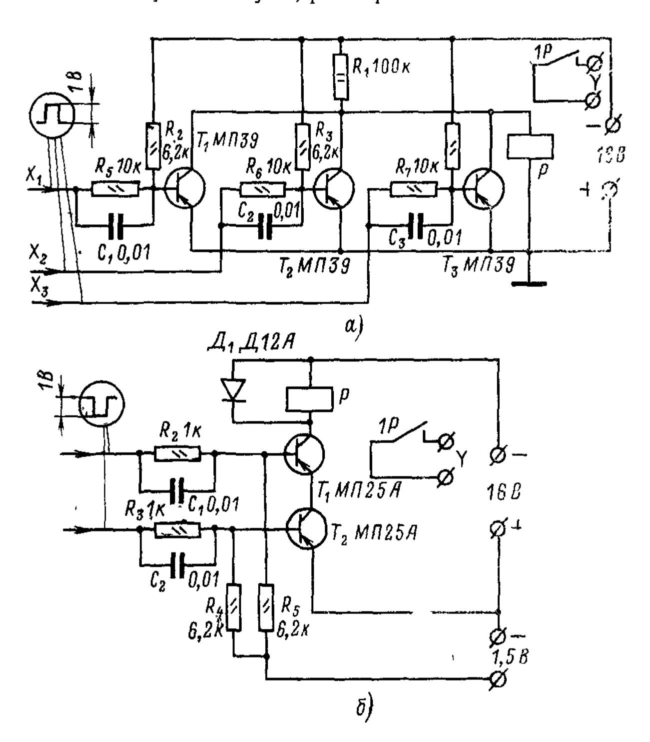


Рис. 76. Транзисторные схемы И.

а — параллельного типа; *б* — последовательного типа.

Транзисторная схема ИЛИ (рис. 77). При отсутствии входных сигналов все транзисторы закрыты и реле *Р* (типа РС-13 с $r_{обм}$= =250 Ом) обесточено. При подаче отрицательного импульса на базу любого из трех транзисторов последний открывается и через реле *Р* начинает протекать ток, достаточный для его срабатывания.

Транзисторная схема инвертора НЕ (рис. 78). При отсутствии входного сигнала транзистор закрыт и реле *Р* (типа РС-10 с $r_{обм}$= =120 Ом) включено. При подаче отрицательного входного сигнала транзистор открывается, шунтируя обмотку реле *Р*, и реле обесточивается.

Элементы И, ИЛИ, НЕ являются основными логическими элементами, позволяющими построить любую сложную логическую схему. Однако некоторые из этих простейших комбинаций получили столь широкое распространение, что также могут рассматриваться

как самостоятельные логические схемы Примером таких схем является схема запрета (рис. 79). Сигнал на выходе этой схемы получается *лишь в случае, когда одновременно с входным сигналом* X, называемым «меченым», не поступает «запрещающий» сигнал S. При отсутствии входного сигнала X и запрещающего сигнала S

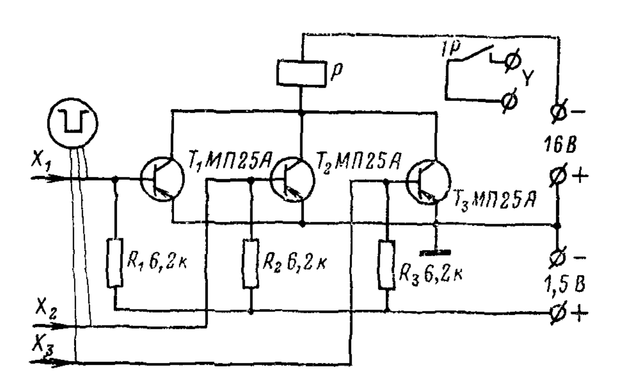


Рис. 77. Транзисторная схема ИЛИ.

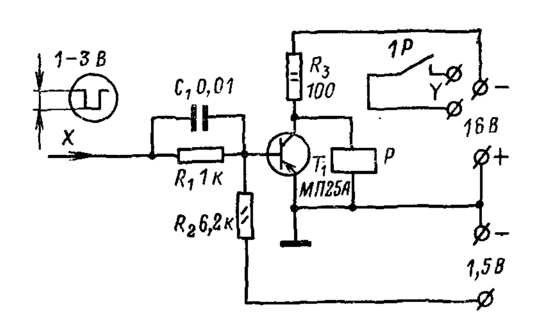


Рис. 78. Транзисторная схема НЕ.

транзисторы T_1 и T_3 открыты и насыщены, а транзистор T_2 закрыт и сигнала Y на выходе нет. С появлением входного сигнала X при *отсутствии сигнала* S *транзистор* T_3 *закрывается и на выходе* получается отрицательное напряжение $Y = -E_к$. Если же одновременно с сигналом X приходит запрещающий сигнал S, то транзистор T_1 *закрывается и открывает транзистор* T_2. *Транзистор* T_2 *включен* параллельно с транзистором T_3, поэтому, несмотря на то что транзистор T_3 закрыт вследствие шунтирующего действия открытого транзистора T_2, напряжение на выходе остается равным нулю.

Схема запрета может иметь несколько меченых входов — X_1, X_2, X_3 и один выход Y. Сигнал на выходе схемы получается лишь тог-

да, когда все меченые входные сигналы совпадают и нет запрещающего сигнала S.

При разработке дискретных логических устройств необходимо по известной схеме автоматического устройства записать его фор-

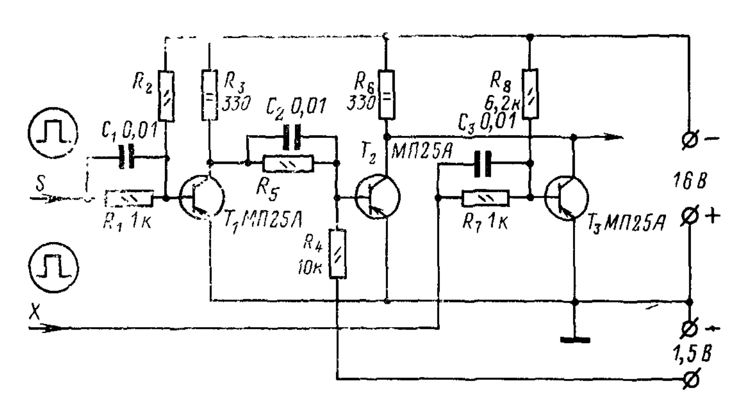


Рис. 79. Транзисторная схема запрета.

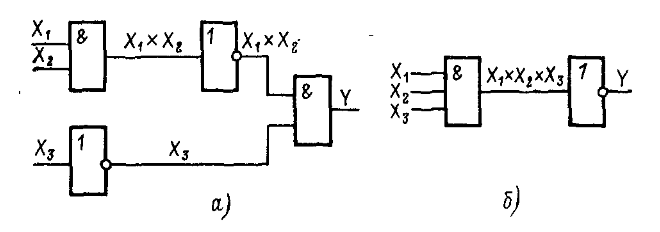


Рис. 80. Функциональные схемы логического устройства $Y = \overline{X_1 X_2} + \overline{X_3}$.

а — первоначальная; *б* — упрощенная.

мулу с целью последующего упрощения схемы или выполнить схему устройства, зная формулу, в соответствии с которой оно должно функционировать.

Рассмотрим решение этих задач на примерах.

Задача 1. Записать формулу автоматического устройства (рис. 80, *а*) и по возможности упростить эту схему.

Решение. Входные сигналы X_1 и X_2 поступают на вход элемента И. Следовательно, на его выходе появляется сигнал, соответствующий произведению $X X$. Элемент НЕ инвертирует этот сигнал, т. е. его выходной сигнал соответствует выражению $\overline{X_1 X_2}$. Полученный после инвертора сигнал вместе с входным сигналом X_3, прошедшим через другой инвертор, поступает на вход элемента И, поэтому на выходе И получится сигнал, соответствующий выра-

жению

$$\overline{X_1X_2}+\overline{X}_3.$$

Так как этот сигнал является выходным сигналом для рассматриваемой схемы, то окончательная формула автоматического устройства имеет вид:

$$\overline{X_1X_2}+\overline{X}_3=Y.$$

Преобразовав полученное выражение, согласно правилу (9) получаем:

$$\overline{X}_1+\overline{X}_2+\overline{X}_3=Y \text{ или } \overline{X_1X_2X_3}=Y.$$

Схема, реализующая данное преобразование, приведена на рис. 80, *б*. Из нее видно, что, не изменяя характера работы устройства, удалось существенно упростить его схему.

Задача 2. Разработать функциональную и принципиальную схемы устройства, работающего по следующей программе:

$$Y=X_1X_2X_3+\overline{X}_1X_3+\overline{X}_2.$$

Из этой формулы видно, что данное устройство имеет три входа: X_1, X_2 и X_3, причем первое слагаемое есть результат прохождения всех трех входных сигналов через элемент И, второе — результат прохождения инвертированных сигналов X_1 и X_3 через элемент И и третье — появление инвертированного сигнала X_2. Сумма всех трех членов показывает, что все сигналы проходят через элемент ИЛИ. Следовательно, функциональная схема устройства должна иметь вид показанной на рис. 81, *а*.

По этой функциональной схеме легко составить принципиальную схему. Так как на вход поступают три сигнала, следовательно, схема должна содержать три реле. Допустим, что обмотки реле и выходная цепь управления питаются от различных источников (например, реле от источника постоянного тока, а цепь управления от сети переменного тока). Следуя известному нам правилу, что умножение можно осуществить последовательным включением контактов реле в цепи управления, сложение — параллельным их включением, а инверсию — применяя нормально замкнутый контакт, получаем принципиальную схему автоматического устройства, удовлетворяющего заданным требованиям (рис. 81, *б*). Из него видно, что для реализации схемы реле P_1 и P_2 должны иметь две пары контактов: одну — нормально разомкнутую, вторую — нормально замкнутую, а реле P_3 — две пары нормально разомкнутых контактов.

Примеры логических автоматических устройств

Устройство включения и выключения телевизора из трех точек. Требуется составить схему, обеспечивающую включение телевизора выключателем у стола (операция X_1) и выключение — выключателями у постелей (операции X_2, X_3). Последующее включение любого выключателя X_1, X_2, X_3 должно включать и выключать телевизор. Используя изложенные выше правила и рассматривая различные комбинации положений выключателей и состояния теле-

визора в соответствии с заданными условиями, составляем таблицу включений (табл. 2).

Таблица 2

№ операции	X_1	X_2	X_3	Y	Наименование операции
1	0	0	1	0	Выбор исходного состояния
2	1	0	1	1	Выключатель Y у стола включает телевизор
3	1	1	1	0	Разомкнут выключатель Y
4	1	0	0	0	Выключатели у постели (X_2) или (X_3) выключают телевизор
5	0	0	0	1	Повторное переключение любого из трех выключателей включает телевизор
6	0	1	1	1	
7	1	1	0	1	
8	0	1	0	0	Последующие переключения любого выключателя выключают телевизор

Продолжая дальнейшие манипуляции выключателями, можно убедиться, что комбинации их состояний в таблице и результат (телевизор включен или выключен) будут повторяться. Поэтому рассмотренных восьми состояний достаточно для составления формулы разрабатываемого устройства. Из рассмотрения табл. 2 видно, что $Y=1$ в четырех случаях (строки *2*, *5*, *6*, *7*). Эти условия можно

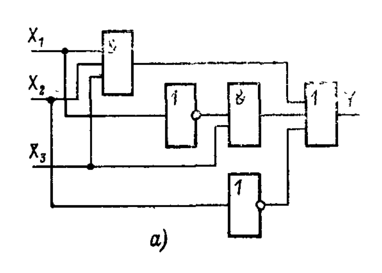
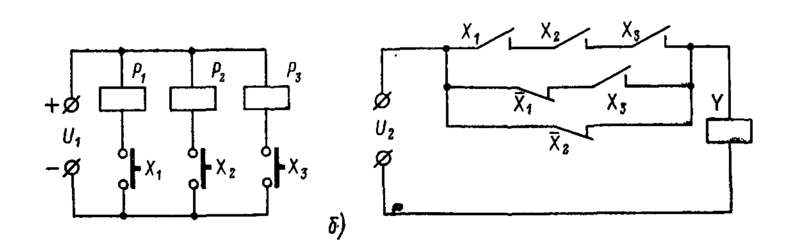


Рис. 81. Схемы логического устройства $Y=X_1X_2X_3+\overline{X_1}X_3+\overline{X_2}$.

а — функциональная; *б* — принципиальная.



выразить формулой:

$$Y = X_1\overline{X}_2X_3 + \overline{X}_1\overline{X}_2\overline{X}_3 + \overline{X}_1X_2X_3 + X_1X_2\overline{X}_3.$$

Полученную формулу можно несколько упростить, группируя первый член со вторым, третий с четвертым и вынося за скобки общие члены:

$$Y = \overline{X}_2(X_1X_3 + \overline{X}_1\overline{X}_3) + X_2(\overline{X}_1X_3 + X_1\overline{X}_3).$$

Применяя известный нам метод, получаем следующую схему включения контактов реле в цепи питания телевизора (рис. 82).

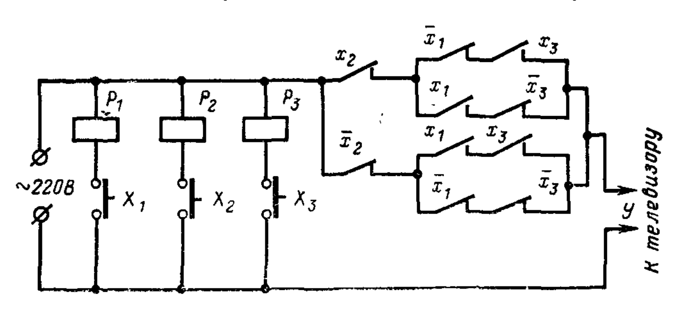


Рис. 82. Принципиальная схема устройства для включения телевизора.

Реле целесообразно питать от сети через выпрямитель. Реле P_1 (управляемое выключателем X_1) и P_3 (управляемое выключателем X_3) должны иметь три пары нормально разомкнутых контактов и одну пару нормально замкнутых, реле P_2 должно иметь одну пару нормально разомкнутых контактов и одну пару — нормально замкнутых. Выбор типа реле и выключателей производят, исходя из напряжения источника питания, потребляемой телевизором мощности и допустимого тока разрыва контактов. При $U_{пит}=220$ В можно применить реле типа МКУ-48 с $r_{обм}=1900 \div 4600$ Ом.

Устройство для автоматического переключения осветительных приборов. Примеры простейших устройств такого рода, предназначенных для переключения елочных гирлянд, приведены на рис. 83. Схема переключателя на тиратронах (рис. 83, *а*) состоит из релаксационного генератора $Л_1$ и двух триггеров $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$, $Л_5$, являющихся делителями частоты. При включении напряжения питания конденсатор C_1 заряжается через резисторы R_1 и R_2, напряжение на управляющем электроде тиратрона $Л_1$ достигает потенциала зажигания тиратрона и последний зажигается. Конденсатор C_1 разряжается через управляющую сетку — катод $Л_1$ и резистор R_4. После того как тиратрон погаснет, процесс повторяется. Остроконечные импульсы положительной полярности, снимаемые с резистора R_4, подаются на управляющие электроды обоих тиратронов первого триггера $Л_2$—$Л_3$, в результате чего зажигается тиратрон $Л_3$. (В исходном состоянии тиратрон $Л_2$ горит, а $Л_3$ погашен.) Конденсатор C_4 начинает разряжаться, и напряжение на аноде тиратрона $Л_2$ уменьшается. Тиратрон $Л_2$ гаснет и обесточи-

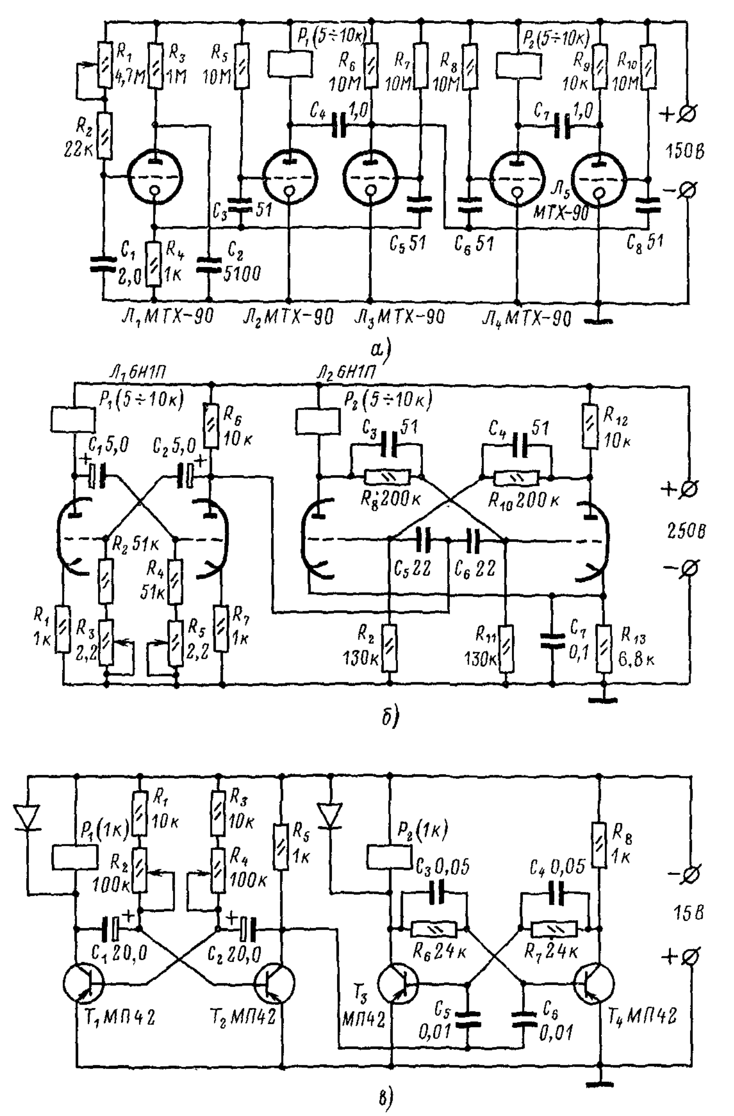


Рис. 83. Принципиальная схема устройства для автоматического переключения осветительных приборов.

а — на тиратронах; *б* — на электронных лампах, *в* — на транзисторах.

вает реле P_1. Тиратрон $Л_3$ горит до поступления на вход триггера следующего положительного импульса с релаксационного генератора. Этот импульс возвращает триггер в исходное состояние.

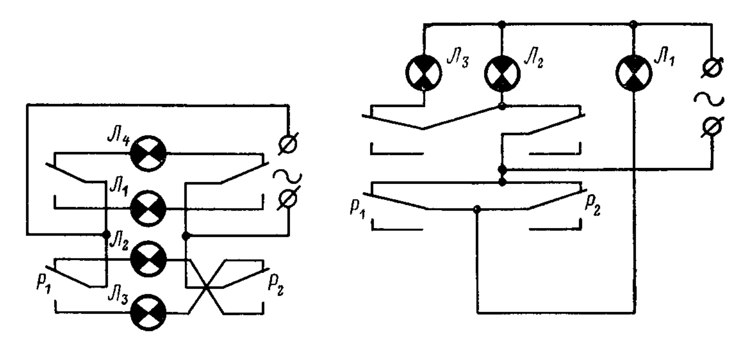


Рис. 84. Схемы подключения елочных гирлянд.

Триггер на тиратронах $Л_4$ и $Л_5$ работает аналогично, но запускается положительными импульсами, поступающими из анодной цепи тиратрона $Л_3$. Поскольку частота положительных импульсов на входе триггера $Л_4$—$Л_5$ в 2 раза меньше, чем на входе триггера $Л_2$—$Л_3$, то реле P_2 срабатывает в 2 раза реже, чем реле P_1.

В описанном случае необходимо применять реле с током срабатывания не более 15—20 мА и двумя парами переключающих контактов.

На рис. 83, *б* и *в* приведены соответственно ламповый и транзисторный аналоги схемы, показанной на рис. 83, *а*. Период переключений можно менять в пределах 0,2—10 с в первом случае с помощью резистора R_1, во втором — с помощью резисторов R_3R_5 и в третьем — с помощью резисторов R_2R_4. Схемы возможных способов подключения елочных гирлянд показаны на рис. 84.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные данные электромагнитных реле

Основные данные	Типы реле					
	РПН	РС-13	РСМ	РКМ	МКУ-48	РЭС-6
Потребляемая мощность, Вт	0,64	0,72	0,47	1,5	2,4	0,5—0,8
Рабочее напряжение, В	24; 48; 60	0,6—200	4—24	0,6—115	12—220	4—50
Номинальный ток в цепи контакта, А	0,2	1	1	0,2	0,23	0,1—0,3
Номинальное напряжение на контактах, В	60	28	28	60	220	30—300

Основные данные	Типы реле					
	РЭС-7	РЭС-8	РЭС-9	РЭС-10	РЭС-15	РЭС-22
Потребляемая мощность, Вт	0,8—1,2	1—1,4	0,46—0,51	0,16—0,34	0,15	0,3—0,6
Рабочее напряжение, В	24—27	17—110	3,3—67	4—36	5—19	12—60
Номинальный ток в цепи контакта, А	0,3—2,0	0,08—5,0	0,3	0,5	0,15—0,2	0,1
Номинальное напряжение на контактах, В	30—300	6—220	250	250	30—150	220

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Основные данные отечественных терморезисторов

Основные данные	Типы терморезисторов					
	ММТ-1	ММТ-4	ММТ-5	КМТ-1	КМТ-4	ММТ-8
Длина, мм	12 ± 1,2	22 ± 1,5	15 ± 1,5	12 ± 1,2	22 ± 1,5	—
Сопротивление при 20°С, кОм	1—20 ± 20%	1200 ± 20%	1—20 ± 20%	20—1000 ± ± 20%	20—1000 ± ± 20%	0,001—1 ± ± 20%
Рабочий интервал температур, °С	От —70 до +120	От —70 до +120	От —70 до +120	От —70 до +180	От —70 до +120	От —40 до +60
Предельно допустимый ток, мА	12	12	12	5	2	—
Постоянная времени, с	85	115	115	85	115	—
Температурный коэффициент сопротивления, %/°С	—2,4 ÷ —3,4	—2,4 ÷ —3,4	—2,4 ÷ —3,4	—4,5 ÷ —6,0	—4,5 ÷ —6,0	—2,4 ÷ —3,4

Основные данные	Типы терморезисторов						
	КМТ-8	КМТ-12	ММТ-12	ММТ-9	КМТ-10	КМТ-11	Т8, ТЭ, ТЗС-1
Длина, мм	—	—	—	—	—	—	8 ± 0,5
Сопротивление при 20°С, кОм	0,1—10 ± ± 20%	0,01—10 ± ± 20%	0,047—1 ± ± 30%	0,01—5 ± ± 20%	0,5—3 ± ± 20%	0,5—3 ± ± 20%	—
Рабочий интервал температур, °С	От —40 до +60	От —40 до +120	От —40 до +120	От —60 до +120	До +120	До +120	От —50 до +160
Предельно допустимый ток, мА	—	—	—	—	15	15	10
Постоянная времени, с	—	—	—	—	—	—	1
Температурный коэффициент сопротивления, %/°С	—4,2 ÷ ÷ —5,0	—4,2 ÷ ÷ —5,0	—2,4 ÷ ÷ —3,4	—2,4 ÷ ÷ —3,4	—4,5 ÷ ÷ —6,0	—4,5 ÷ ÷ —6,0	—4,5 ÷ ÷ —6,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Зависимость термо-э. д. с. от температуры для различных типов термопар

Температура, °С	Термо-э.д.с., мВ				
	Медь—копель	Железо—копель	Хромель—копель	Хромель—алюмель	Платинородий—платина
—20	—0,86	—1,05	—1,27	—0,77	—0,109
0	0	0	0	0	0
20	0,89	1,09	1,31	0,80	0,115
100	4,75	5,75	6,95	4,10	0,640
200	10,29	12,00	14,65	8,13	1,421
300	16,48	18,10	22,90	12,21	2,310
400	23,13	24,55	31,48	16,39	3,243
500	30,15	30,90	40,15	20,64	4,210
600	34,47	37,40	49,00	24,90	5,212
700	—	44,10	57,75	29,14	6,249
800	—	51,15	66,40	33,31	7,320
900	—	—	—	37,36	8,426
1000	—	—	—	41,31	9,566
1100	—	—	—	45,14	10,741
1200	—	—	—	48,85	11,950
1300	—	—	—	52,41	13,153
1400	—	—	—	—	14,356
1500	—	—	—	—	15,558
1600	—	—	—	—	16,760

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Основные данные отечественных фотодиодов

Параметр	Типы фотодиодов				
	ФД-1	ФД-2	ФД-3	ФД-1К	ФД-9К
Рабочее напряжение, В . .	1,5	30	10	20	10
Максимальное обратное напряжение, В	20	50	20	30	20
Темновой ток при $T = +25°$ С, мкА	30	25	15	3	10
Интегральная чувствительность, мА/лм	20	10	20	3	3
Площадь светочувствительной поверхности, мм² . .	5	1	2	2	20
Постоянная времени, с . . .	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}
Диапазон допустимых температур, °С	—60÷+40	—40÷+45	—60÷+60	—50÷+80	—50÷+80

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Параметры биполярных и полевых фототранзисторов

Класс фототранзистора	Рабочее напряжение, В	Темновой ток, А	Интегральная чувствительность, А/Вт	Постоянная времени, с
Кремниевые биполярные .	20—50	$< 10^{-6}$	До 10	10^{-4}—10^{-6}
Германиевые биполярные	5	<5—10^{-5}	>1 А/лм	10^{-4}
Кремниевые полевые . .	15—30	10^{-8}	12—35	10^{-5}—10^{-6}

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сотсков Б. С.** Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств. М., «Энергия», 1965. 576 с. с ил.

2. **Преображенский В. П.** Теплотехнические измерения и приборы. М., Госэнергоиздат, 1953. 383 с. с ил.

3. **Справочник** радиолюбителя. Под ред. Р. М. Терещука и др. Т. 2. Киев, «Техника», 1970. 679 с. с ил.

4. **Яковлев В. Н.** Импульсные генераторы на транзисторах. Киев, «Техника», 1968. 443 с. с ил.

5. **Регельсон Л. М., Кузнецов А. В., Пятибратов А. П.** Импульсная техника. М., Изд-во МГУ, 1967. 479 с. с ил.

6. **Степаненко И. П.** Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., «Энергия», 1971. 615 с. с ил.

7. **Брандт А. А., Ржевкин К. С.** Техника монтажа и налаживания радиосхем. М., Изд-во МГУ, 1966. 445 с. с ил.

8. **Туричин А. М.** Электрические измерения неэлектрических величин. М., «Энергия», 1966.

9. **Овечкин Ю. А.** Полупроводниковые приборы. М., «Высшая школа», 1974. 304 с. с ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ БОРИСОВ

АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Редактор А. Ю. Черкашин
Редактор издательства А. Г. Козлова
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор Т. А. Маслова
Корректор А. Д. Халанская

Сдано в набор 10/XII 1975 г. Подписано к печати 16/III 1976 г.
Т-06911 Формат $84 \times 108^1/_{32}$ Бумага типографская № 3
Усл. печ. л. 4,62 Уч.-изд. л 5,09
Тираж 30 000 экз. Зак. 9561 Цена 21 коп.

Издательство «Энергия»,
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Производственно-издательский комбинат ВИНИТИ
г. Люберцы, Октябрьский проспект, 403

НАШИМ ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Энергия» и редакция МРБ книг не высылают. Литературу по вопросам радиоэлектроники и радиолюбительства можно приобрести в магазинах научно-технической книги или в универсальных магазинах, где есть отдел научно-технической книги.

Публикации, о книгах, которые будут издаваться в текущем году, ежегодно печатаются в первых номерах журнала «Радио». Сообщение о вышедших книгах по радиотехнике и электронике, в том числе и о выпусках МРБ, регулярно публикуются в еженедельной газете «Книжное обозрение» в разделах «Энергетика» и «Связь».

Заказывать книги МРБ рекомендуем только по плану текущего года и даже квартала, так как они расходятся очень быстро.

Радиолюбители, живущие в местах, где нет книжных магазинов, могут обратиться в республиканские магазины научно-технической книги своей республики по следующим адресам:

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ССР — г. Баку, ул. Саратовца-Ефимова, 30.

АРМЯНСКАЯ ССР — г. Ереван, ул. Абовяна, 17, магазин № 1.

БЕЛОРУССКАЯ ССР — г. Минск, 5, Ленинский проспект, 48.

ГРУЗИНСКАЯ ССР — г. Тбилиси, проспект Руставели, 37.

КАЗАХСКАЯ ССР — г. Алма-Ата, ул. Чайковского, 120.

КИРГИЗСКАЯ ССР — г. Фрунзе, Советская ул., 206, магазин № 1.

ЛАТВИЙСКАЯ ССР — г. Рига, ул. Ленина, 29.

ЛИТОВСКАЯ ССР — г. Вильнюс, проспект Ленина, 29.

МОЛДАВСКАЯ ССР — г. Кишинев, ул. Пушкина, 15.

ТАДЖИКСКАЯ ССР — г. Душанбе, проспект Ленина, 128.

ТУРКМЕНСКАЯ ССР — г. Ашхабад, Хивинская ул., 1.

УЗБЕКСКАЯ ССР — г. Ташкент, 122, Волгоградская ул., 10-а.

УКРАИНСКАЯ ССР — г. Киев, 30, ул. Ленина, 10, магазин № 1; г. Львов, Базарная ул., 10; г. Харьков, 12, ул. Свердлова, 17.

ЭСТОНСКАЯ ССР — г. Таллин, проспект Ленина, 7

Радиолюбителям, проживающим в Сибири, рекомендуется обращаться: г. Новосибирск, ул. Станиславского, 6 или Хабаровск, ул. К. Маркса, 23, книжный магазин № 1.

Адрес редакции Массовой радиобиблиотеки: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Издательство «Энергия».